



TESIS - TM142501

STUDI NUMERIK DISTRIBUSI TEMPERATUR DAN KECEPATAN UDARA PADA UNIT FILLING LITHOS PERTAMINA LOBP PUG GRESIK

HERNAWAN NOVIANTO
NRP 2115 202 007

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA KONVERSI ENERGI
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA



TESIS - TM142501

**STUDI NUMERIK DISTRIBUSI TEMPERATUR DAN
KECEPATAN UDARA PADA UNIT FILLING LITHOS
PERTAMINA LOBP PUG GRESIK**

HERNAWAN NOVIANTO
NRP 2115 202 007

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA KONVERSI ENERGI
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



THESIS - TM142501

**NUMERICAL STUDY OF TEMPERATURE AND AIR
VELOCITY DISTRIBUTION IN FILLING LITHOS
UNIT PT. PERTAMINA LOBP GRESIK**

HERNAWAN NOVIANTO
NRP 2115 202 007

SUPERVISOR
Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng

MAGISTER PROGRAM
ENERGY CONVERSION ENGINEERING
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Hernawan Novianto
NRP. 2115 202 007

Tanggal Ujian : 14 Juli 2017
Periode Wisuda : Semester Genap 2016/2017

Disetujui oleh:

1. Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng (Pembimbing)
NIP: 19650505 199003 1 005

2. Ary Bachtiar K.P., ST, MT, PhD (Penguji I)
NIP: 19710524 199702 1 001

3. Dr. Bambang Sudarmanta, ST.,MT (Penguji II)
NIP: 19730116 199702 1 001

4. Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh W, ME (Penguji III)
NIP: 19531219 198103 1 001



Dekan Fakultas Teknologi Industri

Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.
NIP: 19690507 199512 1 001

Halaman ini sengaja dikosongkan

STUDI NUMERIK DISTRIBUSI TEMPERATUR DAN KECEPATAN UDARA PADA UNIT FILLING LITHOS PT. PERTAMINA LOBP GRESIK

Nama mahasiswa : Hernawan Novianto
NRP : 2115 202 007
Pembimbing : Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng

ABSTRAK

Merencanakan sistem pengkondisian udara yang tidak hanya mengatasi kenyamanan termal yang terjadi, tetapi juga mengurangi penggunaan energi adalah sesuatu yang sangat diperlukan pada saat ini. Makalah ini menggambarkan penggunaan permodelan CFD untuk menganalisis kenyamanan termal yang terjadi di area filling lithos PT. Pertamina LOBP PUG di Gresik, dimana luasnya mencapai tiga ribu meter persegi, kebutuhan akan analisis ini disebabkan adanya kondisi yang dirasa kurang nyaman dari para pekerja, dimana temperatur ruangan yang tinggi melebihi kriteria nyaman yang ditentukan oleh ASHRAE. Untuk mendinginkan secara keseluruhan area filling lithos ini dibutuhkan kapasitas pendinginan sekitar 0,3 MW dan ini tentunya tidak efektif, karena beban pendinginan utama yang harus diatasi adalah beban panas dari para pekerja itu sendiri. Oleh karena itu diperlukan perancangan sistem pengkondisian udara yang lebih efisien. Penelitian serupa pernah dilakukan pada line 1 area ini, namun kecepatan udara yang dihasilkan diffuser pendinginan belum memenuhi kriteria nyaman yang ditetapkan oleh ASHRAE. Untuk itu penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh kecepatan dan ketinggian inlet udara suplai diffuser terhadap kenyamanan para pekerja.

Simulasi dilakukan secara *3-Dimensional* dengan menggunakan software FLUENT 6.3.26 dan GAMBIT 2.4.6. Area yang akan disimulasikan adalah line 2 dari area filling lithos, yang berukuran 10,3m x 40m x 13,5m, dengan pengkondisian udara berupa 4 buah ventilator dan 2 unit blower fan. Udara diasumsikan sebagai incompressible gas ideal, aliran *steady*, model turbulensi yang digunakan adalah standard k- ϵ , kriteria konvergen untuk energy 10^{-6} , dan untuk selain energy 10^{-4} , pressure- velocity coupling menggunakan algoritma SIMPLE dan *second order upwind discretization*. Simulasi dilakukan dengan skema existing dan skema perencanaan dimana akan dilakukan variasi kecepatan inlet udara suplai diffuser 1,5 m/s, 2 m/s, dan 2,5 m/s, dan variasi ketinggian diffuser 4,2 m.

Melalui simulasi skema existing diperoleh hasil bahwa temperature pada occupant zone berkisar antara 34–36 °C nilai ini melebihi kriteria temperature yang nyaman menurut ASHRAE. Sebaliknya pada skema existing, dengan adanya penambahan diffuser menunjukkan hasil temperature yang lebih baik, berkisar antara 24-26 °C dan kecepatan inlet diffuser sebesar 2 m/s menghasilkan kecepatan udara yang nyaman di sepanjang tubuh pekerja yaitu sekitar 0,13 – 0,22 m/s. Untuk

kecepatan udara suplai sebesar 2,5 m/s, laju aliran massa yang harus disuplai oleh AHU sekitar 15 kg/s, sehingga kapasitas pendinginan yang dibutuhkan sebesar 0,231 MW. Dibandingkan dengan ketika mendinginkan seluruh ruangan dimana dibutuhkan kapasitas pendinginan 0,3 MW maka metode ini memiliki efisiensi sebesar 30 %. Dari simulasi ini kita juga mengetahui bahwa semakin tinggi kecepatan udara pada sisi para pekerja, Re semakin meningkat akibatnya Nu juga meningkat. Dengan meningkatnya Nu maka heat transfer koefisien juga akan semakin meningkat.

Kata kunci: Distribusi Temperatur, Distribusi Kecepatan, Permodelan CFD

NUMERICAL STUDY OF TEMPERATURE DISTRIBUTION AND AIR VELOCITY IN FILLING LITHOS UNIT PT. PERTAMINA LOBP GRESIK

Name : Hernawan Novianto
Student Identity Number : 2115 202 007
Advisor : Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng.

ABSTRACT

Planning for air conditioning systems which not only overcome the thermal comfort issues but also reduces energy use, is something that is needed at this time. This paper describes the use of CFD modeling to analyze the thermal comfort in the filling area lithos PT. Pertamina LOBP PUG in Gresik, where the extent of three thousand square meters, the need for this analysis due to the uncomfortable conditions felt by workers, where the room temperature exceeding the comfortable criteria specified by ASHRAE. For cooling the whole room, needed a cooling capacity of 0.3 MW and is very inefficiently, because the main cooling load that must be overcome is the heat load of the workers themselves. Therefore, it is necessary to design air conditioning systems more efficient. Similar studies have been done in line 1 of this area, but the speed of the diffuser cooling air generated cozy yet meet the criteria set by ASHRAE. Therefore this study was conducted to analyze the effect of the speed and altitude of the supply air inlet diffuser on the convenience of the workers.

Simulations conducted in *3-Dimensional* using FLUENT software Gambit 6.3.26 and 2.4.6. The area to be simulated is the second line of filling area lithos, is sized 10,3m x 40m x 13,5m, with air conditioning in the form of 4 pieces ventilator and 2 unit blower fan. Air is assumed to be incompressible ideal gas, *steady flow*, turbulence models used is the standard k- ϵ , convergent criteria for energy 10^{-6} and 10^{-4} for other energy, Pressure-velocity coupling using SIMPLE algorithm and *second order upwind* discretization. Simulations carried out by the existing schemes and the planning scheme which would perform variations of the supply air diffuser inlet velocity of 1.5 m / s, 2 m / s, and 2.5 m / s, and height of the diffuser is about 4.2 m

Through simulations showed that the existing schemes in the occupant zone temperature ranging between 34-36 ° C this value exceeds a comfortable temperature criteria specified by ASHRAE. In contrast to the existing scheme, planning scheme with the addition of a diffuser show a better result the temperatures range between 24-26 ° C and inlet diffuser speed of 2 m/s generate a comfortable air velocity along the worker's body at around 0.13 to 0.22 m/s. For the supply air speed of 2,5 m/s, the mass flow rate to be supplied by the AHU approximately 15 kg/s, so that the required cooling capacity of 0.231 MW. Compared with when cooling the whole room where the required cooling capacity of 0.3 MW, this method has an efficiency of 30 %. From these simulations we also know that the higher the speed of air on the side of the workers, increasing Re. As a results, Nu

consequently also increases. By increasing Nu , the heat transfer coefficient will also increase.

Keywords: Temperature Distribution, Velocity Distribution, CFD modeling

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, serta petunjuk-Nya sehingga penyusunan tesis ini dapat terselesaikan. Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penyusunan tesis ini tidak lepas dari dukungan dan kontribusi berbagai pihak, baik kontribusi materi maupun pemikirannya. Melalui kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng, selaku dosen pembimbing tesis, yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran, ilmu-ilmu yang sangat bermanfaat serta selalu memberikan motivasi bagi penulis untuk menyelesaikan tesis ini.
2. Orang tua dan keluarga tercinta yang selalu memberikan doa, motivasi dan dukungannya.
3. Bapak Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, ME; Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT; Ary Bachtar KP., ST., MT., Ph.D selaku dosen penguji tesis, terima kasih atas ilmu dan saran-saran yang telah diberikan.
4. Seluruh dosen dan karyawan jurusan Teknik Mesin ITS yang telah memberikan bantuan selama penulis kuliah,
5. Teman- teman mahasiswa jurusan Teknik Mesin ITS, terima kasih atas kebersamaannya selama ini.
6. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Terima kasih banyak

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tesis ini, Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak demi kesempurnaan tesis ini. Dan penulis berharap semoga tesis ini dapat memberikan manfaat serta sumbangsih bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Kontribusi	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Human Comfort</i>	5
2.2 Pengkondisian Udara	6
2.3 Pola Aliran Udara dan Lokasi Peralatan Pendistribusian Udara	8
2.4 Proses Dasar Pengkondisian Udara	9
2.5 Perpindahan Panas	11
2.5.1 Konduksi	11
2.5.2 Konveksi	12
2.5.3 Radiasi	16
2.6 Computational Fluid Dynamics (CFD)	17
2.7 Penelitian Terdahulu	18
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Studi Kasus	29
3.2 Studi Literatur	29
3.3 Pengumpulan Data	29

3.4	Proses Simulasi.....	33
3.5	Analisa Hasil	39
3.6	Perencanaan Air Handling Unit (AHU)	39
3.6.1	Beban Pendinginan	39
3.6.2	Unit Sistem Pengkondisian Udara dan Saluran Udara	40
3.7	Flow Chart Penelitian	41
BAB 4	ANALISIS HASIL.....	43
4.1	<i>Grid Independency</i>	43
4.2	Area Pengamatan.....	44
4.3	Analisa Skema Existing.....	46
4.3.1	Distribusi Kecepatan udara.....	46
4.3.2	Distribusi Temperatur udara.....	48
4.4	Analisa Skema Perencanaan.....	50
4.4.1	Pengaruh Variasi Kecepatan Udara	53
4.5	Karakteristik Perpindahan Panas.....	57
4.5.1	Contoh Perhitungan	57
4.5.2	Hubungan V inlet, Nu , Re , dan h	59
4.6	Perhitungan Beban Pendinginan	60
4.6.1	Perhitungan Debit Udara	60
4.6.2	Aplikasi Psychrometric Chart.....	61
BAB 5	KESIMPULAN	65
DAFTAR PUSTAKA		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kondisi Area Filling Lithos	1
Gambar 2.1 Diagram Zona Nyaman Dan Temperatur Efektif.....	6
Gambar 2.2 Model Sistem Pengkondisian Udara Sederhana.....	7
Gambar 2.3 Lokasi Penempatan Peralatan Pendistribusi Udara.....	8
Gambar 2.4 Proses Dasar Pengkondisian Udara.....	9
Gambar 2.5 Pendinginan Sebuah Telur melalui Konveksi Paksa dan Alami	12
Gambar 2.6 Boundary Layer Aliran pada Plat Datar	14
Gambar 2.7 Variasi Gaya Gesek Dan Koefisien Perpindahan Panas Lokal Melalui Plat Datar	15
Gambar 2.8 Skema diagram model AC pada Ilustrasi aula	19
Gambar 2.9 Hasil simulasi Komputasi di bagian pusat outlet pasokan udara untuk model 1 dan model 2	19
Gambar 2.10 Hasil simulasi Komputasi di bagian pusat outlet pasokan udara untuk model 3 dan model 4	20
Gambar 2.11 Grafik suhu relatif berdasarkan perbandingan Model komputasi ...	20
Gambar 2.12 Tiga Jenis Skema Pasokan AC.....	22
Gambar 2.13 Hasil Simulasi pada Ruang Tunggu	23
Gambar 2.14 Model Geometri Penelitian Patricia	25
Gambar 2.15 Penurunan kecepatan udara 2,5 m/s terhadap ketinggian pada tiap baris pekerja	26
Gambar 2.16 Pengaruh Variasi kecepatan udara pendingin terhadap distribusi temperatur udara pada bidang zy di ketinggian 1,2 m.....	26
Gambar 2.17 Tata Letak Kantor dengan berbagai posisi Inlet.....	27
Gambar 2.18 Temperatur di Pusat Kantor	27
Gambar 2.19 Kontur Temperatur pada bidang X-Y pada Z=1,8 m	28
Gambar 3.1 Ruang Filling Lithos Tampak Depan (Timur)	31
Gambar 3.2 Ruang Filling Lithos Tampak Samping (Selatan)	31
Gambar 3.3 Area Sample Penelitian dan Posisi Diffuser terhadap Pekerja	32
Gambar 3.4 Model Geometri	34
Gambar 3.5 Domain	34
Gambar 3.6 Tampilan Meshing Model	35
Gambar 3.7 Boundary Condition	36
Gambar 3.8 Skema Sistem Pengkondisian Udara.....	40
Gambar 3.9 Flow Chart Penelitian	41
Gambar 4.1 Grafik Temperatur Error	44
Gambar 4.2 Bidang Pengamatan	45
Gambar 4.3 Kontur Kecepatan Hasil Simulasi Skema Existing	46
Gambar 4.4 Grafik Kecepatan Hasil Simulasi Skema Existing	47
Gambar 4.5 Pathline Kecepatan Udara pada Kondisi Existing	48
Gambar 4.6 Distribusi Temperatur pada Kondisi Existing.....	49
Gambar 4.7 Grafik Temperatur Hasil Simulasi Skema Existing	50

Gambar 4.8 Hasil Simulasi Kecepatan Udara Suplai 2 m/s	51
Gambar 4.9 Grafik Kecepatan Udara pada Kondisi Perencanaan	52
Gambar 4.10 Pathline aliran udara pada kondisi perencanaan	52
Gambar 4.11 Grafik Kontur Temperatur Existing VS Perencanaan	53
Gambar 4.12 Pengaruh Variasi Kecepatan Inlet Diffuser	54
Gambar 4.13 Pengaruh Variasi kecepatan udara pendingin terhadap distribusi temperatur udara	55
Gambar 4.14 Kontur Temperatur Udara Sepanjang Sisi Pekerja 5	55
Gambar 4.15 Grafik Distribusi Temperatur Sepanjang Sisi Pekerja 5	56
Gambar 4.16 Pengaruh Kecepatan Inlet Diffuser terhadap Posisi Pekerja	56
Gambar 4.17 Grafik Distribusi Temperatur dan Kecepatan Udara sepanjang sisi pekerja	57
Gambar 4.18 Grafik Pengaruh Kecepatan Inlet Diffuser terhadap Reynolds dan Nusselt Number	59
Gambar 4.19 Grafik Pengaruh Kecepatan Inlet Diffuser terhadap Koefisien Heat Transfer	59
Gambar 4.20 Plotting temperatur udara rancangan pada Psycrometric Chart	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik simulasi CFD.....	19
Tabel 2.2 Rekomendasi pendinginan udara yang sesuai.....	20
Tabel 3.1 <u>K</u> ondisi Existing Area Filling	30
Tabel 3.2 <i>Properties</i> Fluida.....	37
Tabel 3.3 <i>Boundary Condition</i>	38

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Pertamina LOBP-PUG merupakan salah satu anak perusahaan Pertamina yang bergerak dibidang pelumas, dimana dalam proses blending dan pengisian pelumas ke dalam botol plastik dilakukan secara otomatis sehingga menghasilkan mutu produk yang memenuhi spesifikasi dengan konsistensi mutu yang unggul, volume pengisian lebih akurat dan jenis produk dapat terekam secara otomatis. Kegiatan pengisian pelumas ke dalam botol plastik di area filling lithos ditunjukkan pada gambar 1.1.



Gambar 1.1. Kondisi Area Filling Lithos

Sistem pengkondisian udara yang ada pada area filling lithos meliputi ventilasi, 7 unit blower fan (untuk mensuplai udara kedalam ruangan) dan 24 unit ventilator (untuk mengeluarkan udara dari area tersebut). Dengan adanya teknologi yang serba otomatis dalam proses produksi menimbulkan dampak yang lain, diantaranya temperatur ruangan di area ini menjadi panas (mencapai 35 °C) sehingga menimbulkan rasa tidak nyaman bagi para pekerja, karena standar untuk temperatur yang nyaman berdasarkan *ASHRAE Fundamentals Handbook* berkisar

antara 23 - 27°C. [1]. Oleh karena itu diperlukan sistem pengkondisian udara yang sesuai untuk mengatasi masalah kenyamanan termal yang terjadi.

Pada dua dekade terakhir ini penggunaan CFD meningkat terutama untuk menganalisa kecepatan aliran dan temperatur udara di lingkungan indoor, seperti halnya: apartemen [2], kantor [3,4], museum [5], *lecture theatres* [6], ruang kelas [7], klinik [8], *industrial premises* [9] stadion [10] dan bandara udara [11]. Penelitian mengenai pengaruh turbin ventilator terhadap lingkungan indoor juga pernah dilakukan, penelitian tentang turbin ventilator [12] menunjukkan bahwa Turbin ventilator memang terbukti mampu meningkatkan induksi udara, dibanding dengan tanpa adanya turbin ventilator, tetapi untuk memodifikasi turbin ventilator dengan tujuan untuk meningkatkan kenyamanan termal adalah kecil tingkat keberhasilannya, karena dengan ukuran yang berbeda tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan, bahkan dengan atau tanpa adanya baling- baling dalam. Hasil penelitian Kadiri [13] menunjukkan bahwa kecepatan udara yang dihasilkan kipas tergantung dari jarak dan kecepatan kipas, untuk kipas dinding kecepatan udara berkurang 45% dari kecepatan kipas setelah jarak 3 m dari dinding kipas, blower fan yang dipasang di area filling membawa udara dari luar yang memiliki suhu yang tinggi, sehingga modifikasi blower fan juga kecil kemungkinan untuk meningkatkan kenyamanan termal

Penelitian terhadap kenyamanan termal pada ruangan besar banyak dilakukan, salah satunya oleh Yong wang, dkk[14], mereka mempelajari desain sistem pendingin udara pada bangunan besar, baik sistem pendingin penuh maupun bertingkat. mereka membandingkan dan menganalisis parameter kenyamanan dalam ruangan seperti suhu dan kecepatan udara, Qiong Li dkk [15] juga melakukan penelitian untuk menilai lingkungan termal musim panas di sebuah stasiun kereta api udara di china melalui simulasi CFD, kedua penelitian tersebut mengindikasikan bahwa pendinginan ruangan melalui tengah- tengah ruangan atau stratified lebih diusulkan utk mendinginkan ruangan. Untuk mendinginkan secara keseluruhan area filling lithos yang luasnya mencapai 3000 m² dengan ketinggian 13,4 m dibutuhkan kapasitas pendinginan $\pm 0,3$ MW, mengingat beban pendinginan utama yang harus diatasi adalah beban panas dari para pekerja itu sendiri, dimana pekerja hanya bekerja dengan pergerakan sedikit, tentunya

mendinginkan seluruh ruangan sangatlah tidak efektif [16], dengan demikian untuk merancang sistem pengkondisian udara yang lebih efisien, cukup dilakukan pada tempat dimana pekerja berada saja dengan mengarahkan aliran udara ke tempat tersebut

Analisis terhadap area filling lithos ini pernah dilakukan oleh patricia manurung (2017) [17] dimana patricia mensimulasikan variasi kecepatan suplai udara diffuser terhadap kenyamanan thermal para pekerja, sampel model yang digunakan adalah area filling lithos line 1 yang mempunyai ukuran 8 m x 40 m x 13,5 m dan variasi kecepatan udara suplai yang digunakan adalah : 1,5 m/s, 2 m/s, dan 2,5 m/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari ketiga variasi kecepatan udara suplai yang diambil, semuanya menghasilkan temperatur yang nyaman bagi para pekerja (antara 23 – 25 °C), kecepatan udara yang melintasi tubuh pekerja, rata- rata berkisar 0,91 m/s – 1,08 m/s.

Penelitian yang akan dilakukan saat ini memfokuskan pada pengaruh variasi kecepatan udara suplai terhadap kenyamanan termal pada para pekerja pada line 2, analisa dilakukan melalui profil distribusi temperatur dan kecepatan udara pada permukaan tubuh para pekerja yang dihasilkan oleh simulasi.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan adanya keluhan atas kondisi yang tidak nyaman dari para pekerja, terutama suhu ruangan yang terlalu panas, maka masalah yang akan diteliti pada thesis ini antara lain :

1. Bagaimana distribusi temperatur dan kecepatan udara yang terjadi di area filling lithos PT. PERTAMINA tersebut
2. Bagaimana sistem pengkondisian udara yang tepat untuk mengatasi kebutuhan di area filling lithos PT. PERTAMINA tersebut

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh variasi kecepatan udara suplai pada inlet diffuser dan variasi ketinggian diffuser terhadap kenyamanan termal yang terjadi di area filling lithos, melalui kontur distribusi

temperatur dan kecepatan udara yang dihasilkan dari proses simulasi menggunakan FLUENT 6.3.26.

1.4 Batasan Masalah

Untuk mempermudah dalam melakukan analisis distribusi temperatur dan kecepatan udara pada area filling lithos PT. PERTAMINA ini, maka diperlukan batasan permasalahan dan asumsi antara lain sebagai berikut :

1. Sistem yang diamati adalah area filling lithos PT. PERTAMINA LOBP-PUG dengan diambil *sample* line 2 yang berukuran 10,3 m x 40 m x 13,5 m
2. Aliran yang disimulasikan adalah 3-Dimensi, Steady menggunakan software GAMBIT 2.4.6 dan FLUENT 6.3.26
3. Adanya simplifikasi skema ruangan, untuk mempermudah dalam proses pembuatan geometri dan meshing
4. Udara diasumsikan sebagai gas ideal incompressible
5. Standard suhu dan kelembaban udara mengacu pada standard ASHRAE
6. Parameter yang diamati adalah arah aliran, temperatur dan kecepatan udara

1.5 Kontribusi

Penelitian yang dilakukan dalam thesis ini diharapkan dapat memberikan manfaat, antara lain sebagai berikut :

1. Dapat mengetahui distribusi temperatur dan kecepatan udara yang terjadi di area filling lithos PT. PERTAMINA LOBP PUG Gresik.
2. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan untuk perancangan *air handling system* yang optimal untuk memberikan kenyamanan dalam bekerja dan penghematan energi.
3. Dapat menambah wawasan dan pengetahuan mengenai simulasi pengkondisian udara menggunakan software *CFD* FLUENT.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 *Human Comfort*

Kenyamanan tubuh manusia terutama tergantung pada tiga faktor : temperatur udara, kelembaban relatif, dan kecepatan udara.

1. Temperatur Udara (*Air Temperature*)

Suhu udara yang terlalu tinggi akan menghambat terjadinya konveksi panas yang memadai, sebaliknya suhu udara yang terlalu rendah akan mengakibatkan kehilangan panas yang berlebihan. Banyak penelitian yang memfokuskan pada subyek manusia untuk menentukan "zona kenyamanan thermal" dan juga untuk mengidentifikasi kondisi di mana tubuh terasa nyaman, dan hasilnya bahwa orang yang berpakaian normal, beristirahat atau melakukan pekerjaan ringan, merasa nyaman dalam suhu rata-rata antara udara dan permukaan sekitarnya, berkisar antara 23 - 27 °C (73 - 80 °F).

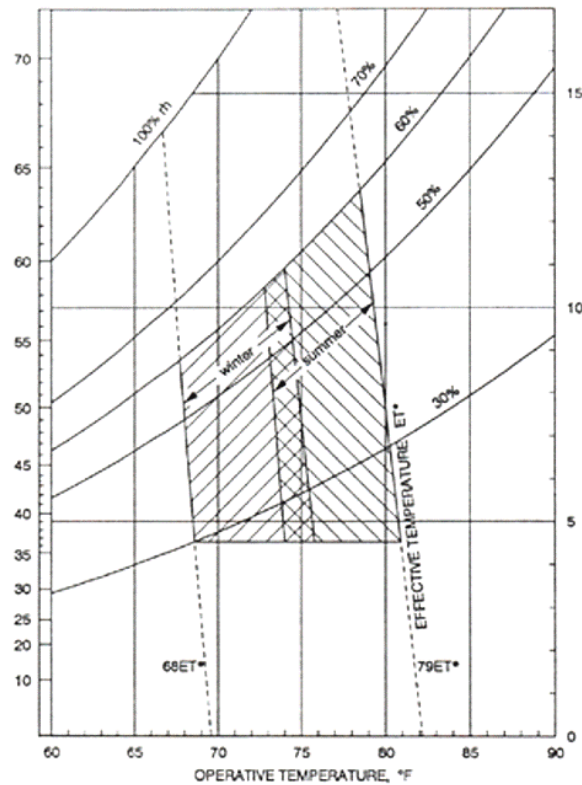
2. Kelembaban Relatif (*Relative Humidity*)

Kelembaban relatif juga memiliki pengaruh yang besar pada kenyamanan karena merupakan ukuran kemampuan udara untuk menyerap kelembaban sehingga mempengaruhi jumlah panas tubuh yang hilang oleh penguapan. Tingkat kelembaban relatif yang diinginkan adalah antara 30 - 70 %, dan yang paling diinginkan adalah sekitar 50 %, karena kebanyakan orang pada kondisi ini merasa tidak dingin atau panas, dan tubuh tidak perlu mengaktifkan salah satu mekanisme pertahanan untuk mempertahankan suhu tubuh normal.

3. Kecepatan Udara (*Air motion*)

Kecepatan udara yang terlalu tinggi maupun kecepatan udara yang terlalu rendah meningkatkan kehilangan panas dari tubuh. Kecepatan udara yang nyaman berada pada range 9 m / min (30 ft / min) pada musim dingin, dan 15 m / min (50 ft / min) pada musim panas, Oleh karena itu, kecepatan udara harus cukup kuat untuk menghilangkan panas dan kelembaban dari sekitar tubuh tetapi sangat lembut untuk dirasakan.

Pakaian sedikit banyak juga berpengaruh pada kenyamanan, hanya saja pada penelitian ini pengaruh pakaian terhadap kenyamanan diabaikan.



Gambar 2.1. Diagram Zona Nyaman dan Temperatur Efektif

Untuk mengukur derajat kenyamanan biasanya digunakan temperatur efektif, yang merupakan ukuran gabungan dari efek temperatur, kelembaban, dan kecepatan udara. Gambar 2.1 merupakan hasil penelitian yang dilakukan pada beberapa orang pada saat mereka merasa hangat, dingin, ataupun nyaman. Area yang diarsir merupakan zona nyaman, dimana Nilai ideal sebuah kondisi nyaman berada pada temperatur efektif 76 °F (24,5 °C) dan relative humidity 50%.

2.2 Pengkondisian Udara

Pengkondisian udara nyaman (*comfort air conditioning*) bisa diartikan sebagai proses perlakuan terhadap udara untuk mengatur suhu, kelembaban,

kebersihan, dan pendistribusiannya secara serempak guna mencapai kondisi nyaman yang dibutuhkan oleh penghuni yang berada didalam suatu ruangan.

Pada bangunan besar biasanya digunakan sistem pengkondisian udara sentral, bisa menggunakan sistem udara segar atau sistem udara balik, dan pada umumnya digunakan pendinginan setempat (*spot cooling*) karena mendinginkan secara keseluruhan suatu pabrik misalnya, tentu tidak praktis, oleh karena itu pengkondisian udara cukup dilakukan pada tempat dimana pekerja berada saja dengan mengarahkan aliran udara ke tempat tersebut.

Pada umumnya pengkondisian udara digunakan untuk dua tujuan utama yaitu :

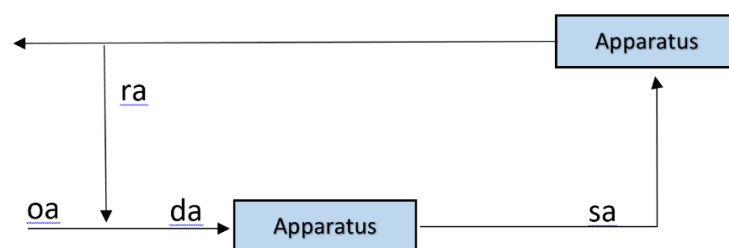
1. Pengkondisian udara untuk kenyamanan.

Pengkondisian udara untuk kenyamanan adalah pengkondisian udara ruangan yang bertujuan untuk memberikan kenyamanan bagi penghuni yang melakukan aktivitas didalamnya.

2. Pengkondisian udara untuk proses control/ industri.

Proses kontrol mengacu pada pengkondisian udara yang dibutuhkan untuk menunjang atau meningkatkan suatu operasi atau proses, biasanya diperlukan untuk pemrosesan bahan, peralatan produksi, atau barang-barang yang ada dalam ruangan tersebut.

Skema pengkondisian udara sederhana dapat dilihat melalui Gambar 2.2, dimana udara luar (oa) dicampurkan dengan udara return dari ruangan (ra) sebelum memasuki apparatus (da), didalam apparatus udara mengalami pemrosesan, setelah itu kemudian disuplai ke ruangan (sa). Udara dari ruangan sebagian dikeluarkan dan sebagian lagi dikembalikan untuk dicampurkan dengan udara segar, begitulah seterusnya siklus berlangsung.

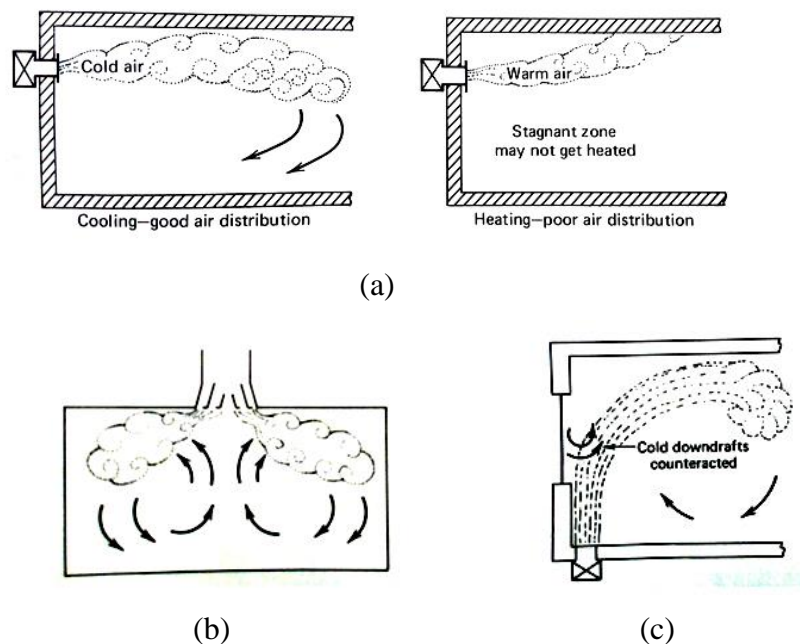


Gambar 2.2. Model Sistem Pengkondisian Udara Sederhana

2.3 Pola Aliran Udara dan Lokasi Peralatan Pendistribusian Udara

Agar dapat memilih dan menentukan lokasi yang tepat dari peralatan pendistribusi udara, diperlukan pengetahuan tentang bagaimana suplai udara ke suatu ruangan, sehingga diperoleh pendistribusian udara yang baik. Adapun jenis/ cara supply udara ke suatu ruangan dijelaskan sebagai berikut :

1. *High wall*, Lokasi ini sangat baik untuk pendinginan karena udara dingin secara alami cenderung turun ke bawah, dan sebaliknya lokasi ini sangat buruk untuk proses pemanasan karena udara hangat cenderung naik.
2. *Ceilling*, ini merupakan lokasi yang sempurna untuk pendinginan. Sama seperti *high wall* lokasi ini sangat buruk untuk pemanasan.
3. *Low wall*, lokasi ini sangat baik untuk pemanasan, tetapi tidak dianjurkan untuk pendinginan, karena udara dingin cenderung bergerak di sekitar lantai.
4. *Floor* atau *Sill*, lokasi ini sangat sempurna untuk pemanasan jika diletakkan dibawah jendela, karena berlawanan dengan udara dingin yang turun. Lokasi ini juga bias dipakai untuk pendinginan jika tersedia kecepatan udara yang cukup, memaksa udara dingin ke atas dan bersirkulasi.



Gambar 2.3. Lokasi Penempatan Peralatan Pendistribusi Udara

(A) *High Wall* ; (B) *Ceiling* ; (C) *Floor Atau Sill*

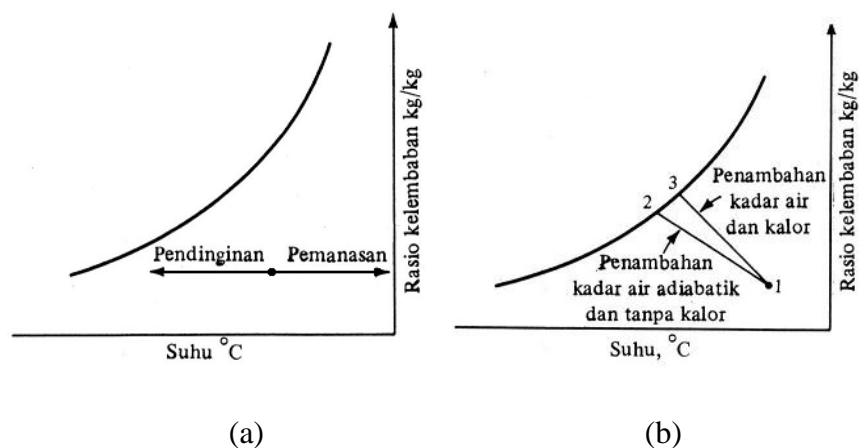
2.4 Proses Dasar Pengkondisian Udara

Proses dasar pengkondisian udara meliputi: pemanasan atau pendinginan *sensible*, pelembaban *adiabatic* dan *non adiabatic*, pendinginan dan pengurangan kelembaban (pengeringan), pengurangan kelembaban kimiawi, dan campuran. Proses-proses yang terjadi tersebut dapat digambarkan dalam bagan psikometrik dimana bagan tersebut digunakan untuk menjelaskan perubahan sifat-sifat udara yang penting, seperti temperatur, rasio kelembaban, dan entalpi

- Pemanasan atau pendinginan *sensible*, adalah suatu proses dimana laju perpindahan panas yang hanya disebabkan oleh perubahan temperatur bola kering udara.
- Pelembaban, dapat bersifat adiabatik seperti pada proses 1-2 atau dengan penambahan kalor seperti pada proses 1-3.
- Pendinginan atau pengurangan kelembaban (pengeringan), menghasilkan penurunan temperatur dan rasio kelembaban. Proses tersebut terjadi pada koil pendingin atau alat penurun kelembaban. Kapasitas refrigerasi selama proses pendinginan atau pengurangan kelembaban adalah sebagai berikut:

$$Kapasitas\ refrigerasi = \dot{m}(h_1 - h_2) \dots\dots\dots (2.2)$$

(Wilbert F Stocker, Refrigerasi Dan Pengkondisian Udara, 1982)



Gambar 2.4. Proses Dasar Pengkondisian Udara. (a) Pemanasan dan Pendinginan. (b) Pembasahan

- d. Proses kimiawi, uap air dari udara diserap atau diabsorpsi oleh suatu bahan higroskopik. Apabila proses tersebut diberi penyekat kalor sehingga entalpinya tetap dan karena kelembaban turun, maka temperatur udara harus naik.
- e. Campuran dua aliran udara adalah proses yang umum di dalam pengkondisian udara. Gambar 2.4 (e.a) menunjukkan pencampuran antara \dot{m}_1 kg/dt udara dari keadaan 1 dengan \dot{m}_2 kg/dt udara dari keadaan 2. Hasilnya adalah kondisi 3, terlihat pada grafik psikometrik dalam Gambar 2.4 (e.b). persamaan dasar untuk proses pencampuran ini adalah persamaan kesetimbangan energi dan kestimbangan massa. Persamaan 2.2 dan 2.3 [18] menunjukkan bahwa entalpi dan rasio kelembaban akhir adalah rata-rata dari entalpi dan rasio kelembaban udara saat masuk.

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) h_3 \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

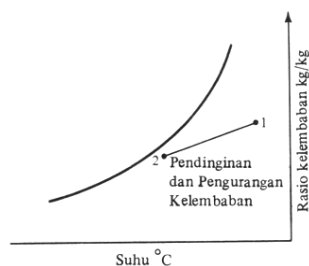
Dan persamaan kesetimbangan massa air adalah:

$$\dot{m}_1 W_1 + \dot{m}_2 W_2 = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) W_3 \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

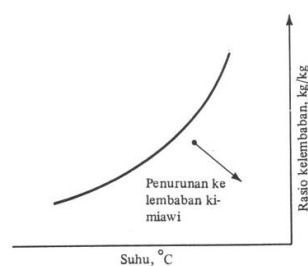
Dimana:

W : rasio kelembaban, kg/kg

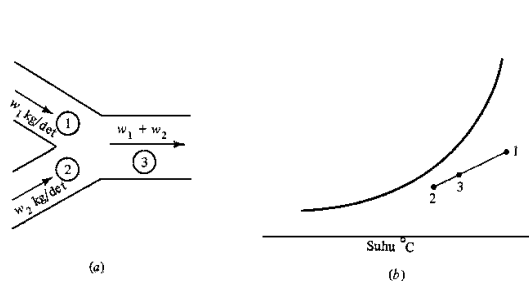
h : entalpi, kJ/kg



(c)



(d)



(e)

Gambar 2.4. Proses Dasar Pengkondisian Udara. (c) Pendinginan dan Pengeringan. (d) Pengeringan Kimiawi. (e.a) Skema Proses Pencampuran. (e.b) Proses Pencampuran Dipetakan Pada Grafik Psikometrik

2.5 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah mekanisme perpindahan energi yang disebabkan perbedaan temperatur baik pada suatu media atau antarmedia. Energi panas berpindah dengan tiga cara, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.

2.5.1 Konduksi

Konduksi adalah transfer energi dari partikel lebih energik dari substansi yang kurang energik yang berdekatan sebagai akibat dari interaksi antara partikel. Konduksi dapat terjadi dalam padatan, cairan, atau gas.

Laju konduksi panas melalui media tergantung pada geometri media, ketebalan, dan bahan medium, serta perbedaan suhu di seluruh media.

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

\dot{Q}_{cond} : Laju perpindahan panas konduksi, W

k : Konduktivitas panas, W/m.K

A : Luasan perpindahan panas, m²

dT/dx : Gradien suhu, yang merupakan kemiringan kurva temperatur pada diagram T-x (laju perubahan dari T dengan x), di lokasi x

dx : Beda jarak, m

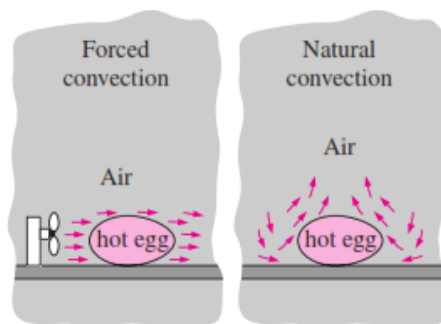
Tanda negatif digunakan karena perpindahan panas selalu terjadi ke arah temperatur yang lebih rendah.

2.5.2 Konveksi

Konveksi adalah modus transfer energi antara permukaan padat dan cair yang berdekatan atau gas yang bergerak. Semakin cepat gerakan fluida, semakin besar perpindahan panas konveksi

Konveksi diklasifikasikan sebagai *Natural (atau free) convection* dan *forced convection* tergantung pada bagaimana gerakan fluida dimulai

1. Konveksi disebut konveksi paksa jika cairan dipaksa mengalir di atas permukaan dengan cara eksternal seperti kipas, pompa, atau angin.
2. Konveksi disebut natural (atau free) konveksi jika gerakan fluida disebabkan oleh gaya apung yang disebabkan oleh perbedaan kepadatan karena variasi suhu dalam cairan (Gambar. 2.5).



Gambar 2.5. Pendinginan Sebuah Telur melalui Konveksi Paksa dan Alami

3. Proses perpindahan panas yang melibatkan perubahan dari fase cairan juga dianggap konveksi karena gerakan fluida disebabkan selama proses, seperti munculnya gelembung uap selama perebusan atau jatuhnya tetesan cairan selama kondensasi

Secara matematis dituliskan sebagai berikut :

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_{\infty}) \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

\dot{Q}_{conv} : Laju perpindahan panas konveksi, W

h : koefisien perpindahan panas konveksi, W/m² .K

A_s : Luas permukaan dimana perpindahan panas konveksi berlangsung, m²

T_s : temperatur permukaan, K

T_{∞} : temperatur fluida yang cukup jauh dari permukaan, K

Koefisien perpindahan panas konveksi h bukanlah milik cairan. Ini adalah parameter yang ditentukan dalam eksperimen yang nilainya tergantung pada semua variabel yang mempengaruhi konveksi seperti geometri permukaan, sifat gerakan fluida, sifat-sifat cairan, dan kecepatan fluida.

Fenomena yang mempengaruhi gaya drag juga mempengaruhi perpindahan panas, dan efek ini muncul dalam Bilangan Nusselt. Bilangan Nusselt lokal dan Bilangan Nusselt rata-rata memiliki bentuk fungsional

$$Nu_x = f_1(x^*, Re_x, Pr) \quad \text{and} \quad Nu = f_2(Re_L, Pr)$$

Data percobaan untuk perpindahan panas sering diwakili oleh

$$Nu = C Re_L^m Pr^n \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana m dan n adalah eksponen konstan, dan nilai konstanta C tergantung pada geometri dan aliran. Suhu cairan di lapisan batas termal bervariasi dari T_s di permukaan sampai T di tepi luar dari *boundary* Sifat fluida juga bervariasi dengan suhu, dan untuk menjelaskan variasi sifat dengan suhu, sifat fluida biasanya dievaluasi pada temperatur film, yang didefinisikan sebagai

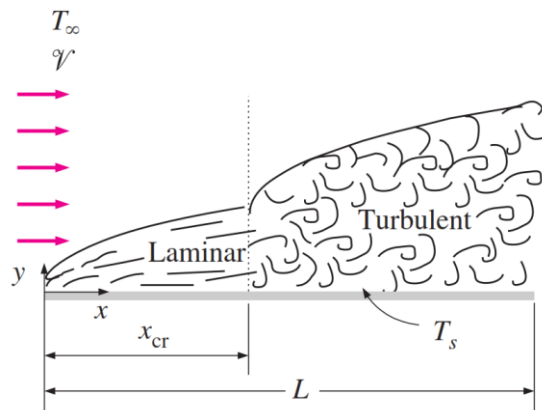
$$T_f = \frac{T_s + T_{\infty}}{2} \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

yang merupakan rata-rata antara suhu permukaan dan suhu udara bebas. Sifat fluida kemudian diasumsikan tetap konstan pada nilai ini sepanjang aliran.

Ketika drag rata-rata dan koefisien konveksi tersedia, laju perpindahan panas ke atau dari permukaan isothermal dapat ditentukan dari persamaan 2.6.

$$\dot{Q} = hA_s(T_s - T_\infty) \dots\dots\dots (2.9)$$

Untuk aliran paralel melalui plat datar dengan panjang L searah aliran, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Koordinat x diukur sepanjang permukaan plat dari ujung plat dalam arah aliran. fluida mencapai plat pada arah x dengan kecepatan upstream seragam v dan suhu T_∞ . Aliran dalam lapisan batas kecepatan dimulai sebagai laminar, tetapi jika plat cukup panjang, aliran akan menjadi turbulen pada jarak x_{cr} dari ujung plat dimana jumlah Reynolds mencapai nilai kritis untuk transisi.



Gambar 2.6. Boundary Layer Aliran pada Plat Datar

Transisi dari laminar ke aliran turbulen tergantung pada geometri permukaan, kekasaran permukaan, kecepatan upstream, suhu permukaan, dan jenis cairan, dan ditentukan oleh dengan Bilangan Reynolds. Bilangan Reynolds pada jarak x dari ujung pelat datar dinyatakan sebagai

$$Re_x = \frac{\rho V x}{\mu} = \frac{V x}{\nu} \dots\dots\dots (2.10)$$

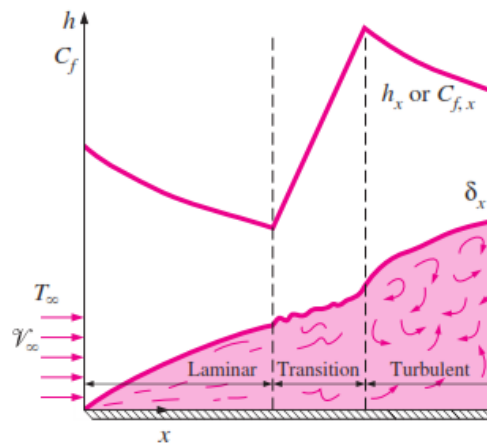
Perhatikan bahwa nilai bilangan Reynolds bervariasi untuk plat datar sepanjang aliran, mencapai $Re_L = V L / \nu$ pada ujung plat. Untuk aliran di atas plat datar, transisi dari laminar menjadi turbulen biasanya diambil terjadi pada Bilangan Reynolds Kritis

$$Re_{cr} = \frac{\rho V x_{cr}}{\mu} = 5 \times 10^5 \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

Nilai Bilangan Reynolds kritis untuk plat datar dapat bervariasi dari 10^5 to 3×10^6 , tergantung pada kekasaran permukaan dan tingkat turbulensi dari aliran bebas.

Bilangan Nusselt lokal pada lokasi x untuk aliran laminar melalui plat datar ditentukan melalui persamaan

$$\begin{aligned} \text{Laminar: } Nu_x &= \frac{h_x x}{k} = 0.322 Re_x^{0.5} Pr^{1/3} & Pr > 0.60 \\ \text{Turbulent: } Nu_x &= \frac{h_x x}{k} = 0.0296 Re_x^{0.8} Pr^{1/3} & \begin{matrix} 0.6 \leq Pr \leq 60 \\ 5 \times 10^5 \leq Re_x \leq 10^7 \end{matrix} \end{aligned} \quad (2.12)$$



Gambar 2.7. Variasi Gaya Gesek Dan Koefisien Perpindahan Panas Lokal Melalui Plat Datar

Sebagaimana ditunjukkan gambar 2.7 gaya gesek dan koefisien perpindahan panas lokal aliran turbulen lebih tinggi daripada aliran laminar, sehingga Bilangan Nusselt rata- rata untuk aliran melalui plat datar bisa diperoleh melalui persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \text{Laminar: } Nu &= \frac{hL}{k} = 0.664 Re_L^{0.5} Pr^{1/3} & Re_L < 5 \times 10^5 \\ \text{Turbulent: } Nu &= \frac{hL}{k} = 0.037 Re_L^{0.8} Pr^{1/3} & \begin{matrix} 0.6 \leq Pr \leq 60 \\ 5 \times 10^5 \leq Re_L \leq 10^7 \end{matrix} \end{aligned} \quad (2.13)$$

Dalam beberapa kasus, plat datar cukup panjang untuk aliran menjadi turbulen, tapi tidak cukup lama untuk aliran laminar, dalam kasus tersebut, Bilangan Nusselt rata-rata sepanjang plat menjadi

$$Nu = \frac{hL}{k} = (0.037 Re_L^{0.8} - 871) Pr^{1/3} \quad \begin{matrix} 0.6 \leq Pr \leq 60 \\ 5 \times 10^5 \leq Re_L \leq 10^7 \end{matrix} \quad ..(2.14)$$

2.5.3 Radiasi

Radiasi merupakan cara perpindahan energi panas dengan gelombang elektromagnetik dari suatu permukaan benda ke lingkungannya tanpa memerlukan media penghantar. Model matematik dari perpindahan panas secara radiasi ini adalah sebagai berikut:

$$\dot{Q}_{rad} = \sigma \varepsilon A_s (T_s^4 - T_{surr}^4) \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana:

- \dot{Q}_{rad} : Laju Perpindahan Panas Radiasi, W
- σ : Konstanta Stefan-Boltzman, $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$
- ε : Emisivitas bahan
- A_s : Luas permukaan dimana perpindahan panas radiasi berlangsung, m^2
- T_s : Temperatur permukaan, K
- T_{surr} : Temperatur lingkungan, K

Untuk benda hitam sempurna atau *black body* mempunyai nilai $\varepsilon = 1$, karena benda hitam merupakan pemancar dan penyerap panas yang baik. Sedangkan permukaan yang mengkilap termasuk pemancar dan penyerap panas yang buruk memiliki nilai $\varepsilon = 0$.

2.6 *Computational Fluid Dynamics (CFD)*

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah metode penghitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi computer untuk melakukan penghitungan pada tiap-tiap elemen pembagiannya. Prinsipnya adalah suatu ruang yang berisi fluida yang akan dilakukan penghitungan dibagi menjadi beberapa bagian, hal ini sering disebut dengan sel dan prosesnya dinamakan *meshing*. Bagian-bagian yang terbagi tersebut merupakan sebuah kontrol penghitungan. Kontrol- kontrol penghitungan ini merupakan pembagian ruang atau *meshing*. Pada setiap titik kontrol penghitungan akan dilakukan penghitungan dengan batasan *domain* dan *boundary condition* yang telah ditentukan.

Secara umum proses penghitungan *CFD* terdiri atas 3 bagian utama yaitu:

- *Pre-processing*
- *Processing*
- *Post-processing*

Pre-processing

Langkah-langkah dalam tahap *pre-processing* yaitu:

- Definisi geometri region yang telah di buat
- Pemecahan domain menjadi beberapa sub domain yang lebih kecil dan *non overlapping* dari hasil *meshing* geometri
- Pemilihan fenomena fisik yang perlu dimodelkan
- Definisi properties fluida
- Pemberian *boundary condition*/ kondisi batas yang sesuai pada sel-sel yang berhimpit dengan batas domain

Akurasi *CFD* ditentukan oleh jumlah sel dalam *grid*. Secara umum, semakin besar jumlah sel maka semakin baik keakurasiannya. Lama tidaknya perhitungan dalam iterasi tergantung kepada halus atau rapatnya *grid*. Pembuatan geometri pada Gambit dapat dibuat secara langsung dari Gambit

Processing

Dalam tahap ini akan dilakukan :

- Pendefinisian masalah : meliputi pemilihan properties fluida, pendefinisian boundary condition,
- Pemilihan model turbulensi, pemilihan solver, residual
- Perhitungan Numerik terhadap model yang dibuat pada tahap *pre processing*.

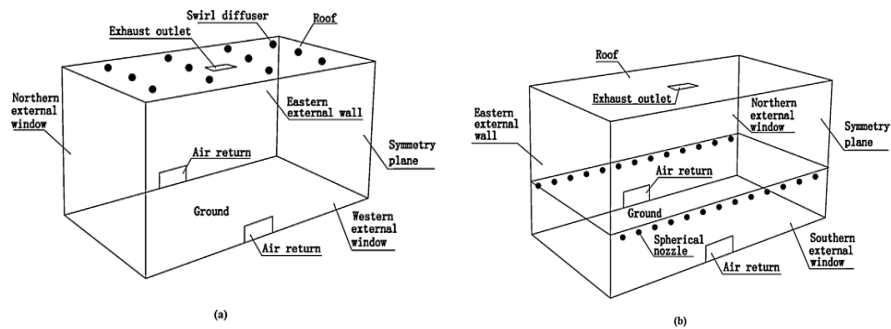
Post-processor

Pada tahap ini sudah diperoleh hasil perhitungan numerik, berupa nilai-nilai numerik (angka-angka) variabel-variabel dasar aliran seperti kecepatan aliran udara, tekanan, temperatur dan fraksi-fraksi masa. Dalam *post-processor* hasil-hasilnya disajikan dalam bentuk visualisasi ataupun kontur-kontur distribusi parameter- parameter aliran fluida. Sehingga pada tahap ini adalah merupakan tahap analisis terhadap hasil visualisasi.

2.7 Penelitian Terdahulu

Yong wang, dkk (2013)[10] mempelajari desain sistem pendingin udara pada bangunan besar, baik sistem pendingin penuh maupun bertingkat. mereka membandingkan dan menganalisis parameter kenyamanan dalam ruangan seperti suhu dan kecepatan udara, Ukuran masing-masing model adalah (19,2 m× 18 m× 6 m), (19.2 m× 18 m× 8 m), (19.2 m× 18 m× 12 m), dan (19.2 m× 18 m× 18 m). Model full AC ditunjukkan pada Gambar 2.10(a). Diffusers swirl terletak di bagian atas ruangan dan digunakan sebagai outlet pasokan udara dari AC penuh untuk memasok udara. Outlet pembuangan terletak di bagian atas ruangan, dan lubang udara kembali diposisikan di bagian bawah ruangan.

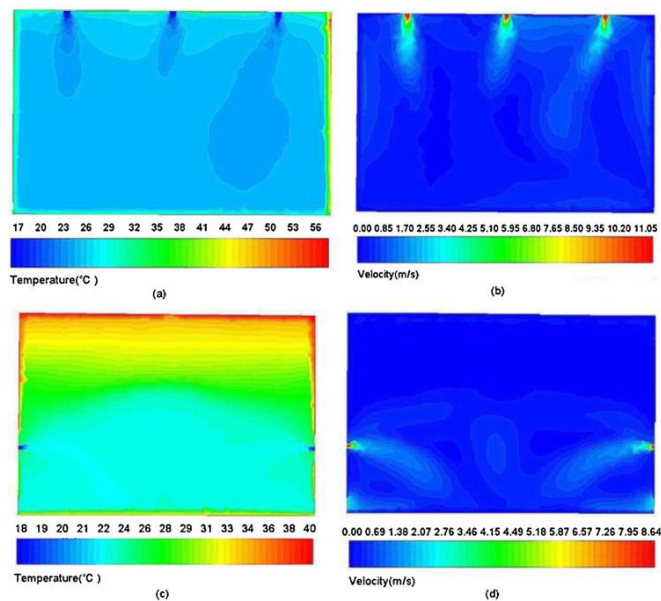
Model pendingin udara bertingkat diilustrasikan pada Gambar 2.10(b). nozel bola diletakkan pada ketinggian tertentu dari ruang. Outlet pasokan udara 3-4,8 m di atas tanah outlet pembuangan terletak di bagian atas ruangan. The inlet udara kembali berada di bagian bawah ruangan.



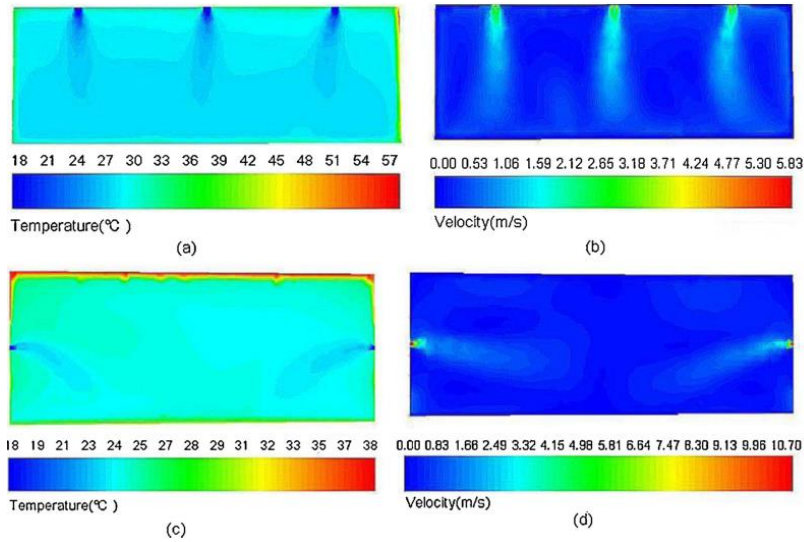
Gambar 2.8. Skema Diagram Model AC pada Ilustrasi Aula: (a) Sistem Full AC; dan (b) Stratified AC Sistem

Tabel 2.1. Karakteristik simulasi CFD

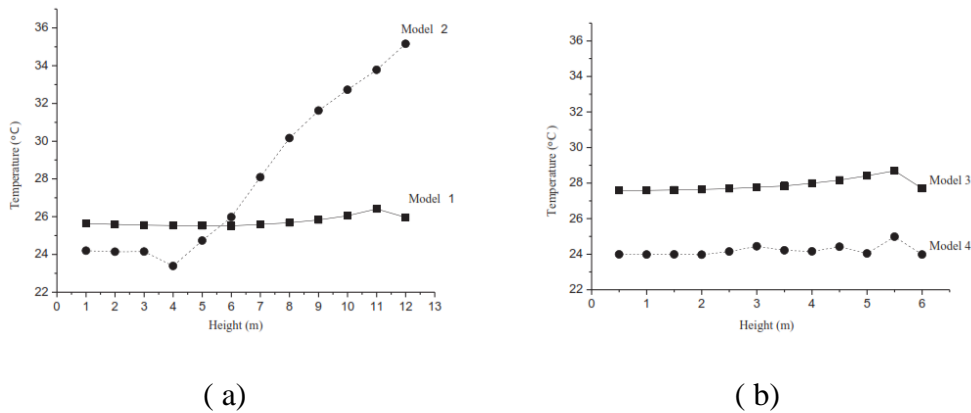
Characteristics	Storey height, H (m)	Building envelope	Air conditioning
Model and figure number			
Model 1 - Fig. 2(a)	12	With external windows in the south, north and west directions	Full air conditioning
Model 2 - Fig. 2(b)	12		Stratified air conditioning ($\theta = 0.33$)
Model 3 - Fig. 2(a)	6		Full air conditioning
Model 4 - Fig. 2(b)	6		Stratified air conditioning ($\theta = 0.5$)



Gambar 2.9. Hasil simulasi Komputasi di bagian pusat outlet pasokan udara berdasarkan: (a) suhu lapangan dari Model 1; (b) kecepatan medan dari Model 1; (c) suhu lapangan dari Model 2; dan (d) kecepatan medan dari Model 2



Gambar. 2.10. Hasil simulasi Komputasi di bagian pusat outlet pasokan udara berdasarkan: (a) Distribusi Temperatur dari Model 3; (b) Distribusi kecepatan dari Model 3. (c) Distribusi Temperatur dari Model 4; dan (d) Distribusi kecepatan dari Model 4.



Gambar. 2.11. Grafik suhu relatif berdasarkan perbandingan Model komputasi (a) 1 dan 2 (b) 3 dan 4.

Tabel 2.2. Rekomendasi pendinginan udara yang sesuai

Storey height, H (m)	18	12	8	6
Full air conditioning	X	○	△	△
Relative stratification height, θ	0.22	0.33	0.6	0.5
Stratified air conditioning	△	△	○	△

△—recommended, ○—less recommended, X—not recommended.

Hasil simulasi secara keseluruhan mengindikasikan bahwa untuk bangunan besar lebih disarankan menggunakan pengkondisian udara bertingkat.

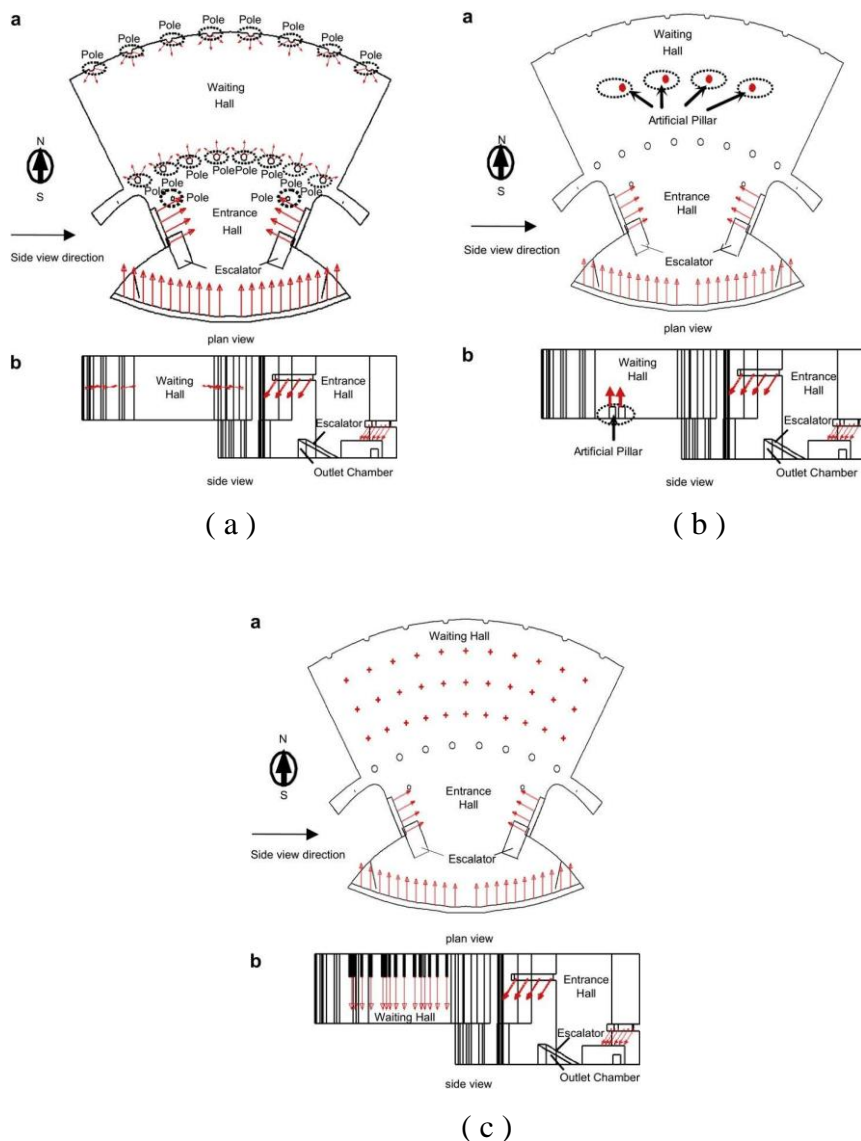
Pada tahun 2008 Qiong Li dkk melakukan penelitian untuk menilai lingkungan termal musim panas di sebuah stasiun kereta api udara di china melalui simulasi CFD, di bawah tiga jenis skema desain Air Conditioner, Efek dari pasokan suhu udara, kecepatan, ketinggian dan sudut datang pada distribusi aliran udara dalam ruangan dianalisis. Dari diskusi tersebut, saran rekomendasi untuk mengoptimalkan desain AC dibuat. Tujuan utama adalah untuk memperkenalkan cara yang efektif untuk menilai dan mengoptimalkan desain AC.

Bangunan stasiun kereta api yang diteliti memiliki dua lantai dengan ukuran sekitar 88 m (panjang) 70 m (lebar) 20,3 m (tinggi). Ini terdiri dari pintu masuk hall di lantai pertama dan ruang tunggu di lantai dua. Di ketinggian vertikal, lorong pintu masuk adalah dari 0 m sampai 20,3 m sedangkan ruang tunggu adalah dari 7,5 m sampai 20,3 m. Di antara nya, ada dua eskalator untuk mengangkut orang dari pintu masuk aula ke ruang tunggu. Untuk mempermudah proses permodelan dan proses *meshing* maka pemodelan ruangan ini dilakukan dengan simplifikasi terhadap bentuk-bentuk yang kompleks.

Tiga jenis skema pasokan AC dirancang untuk bangunan stasiun kereta ini, yaitu supply side, pasokan pilar buatan dan pasokan langit-langit ditunjukkan melalui gambar 2.14. Beban pendinginan masing-masing ruangan sama, pasokan suhu udara 16 °C. Pada Skema 1 (supply side) udara pendingin dipasok melalui 16 tiang pipa udara pendingin dari 3 diffusers pada setiap pipa nya, pada ketinggian 14 m, yaitu pertengahan ketinggian ruang tunggu. Sudut pasokan 10° ke atas dari horisontal. Skema 2 (supply pilar buatan), empat pilar buatan dengan ketinggian 2,2 m yang dibangun di tengah ruang tunggu untuk memasok udara dingin. Diffusers pasokan terletak di bagian atas pilar. Dalam skema 3 (pasokan langit-langit), udara pendingin disediakan melalui 33 diffusers dari langit-langit.

Untuk semua tiga skema itu, skema exhaust di ruang tunggu adalah sama. Pipa exhaust adalah tetap dengan 16 tiang. Pada ketinggian 7,8 m dan 8,5 m pada setiap pipa exhaust, diffusers stopkontak diposisikan. Di lorong pintu masuk, udara pendingin dipasok oleh 22 diffusers lokasi di ketinggian 6,5 m sepanjang dinding selatan. Sudut pasokan 30 ke bawah dari horisontal. Lorong juga disediakan dengan

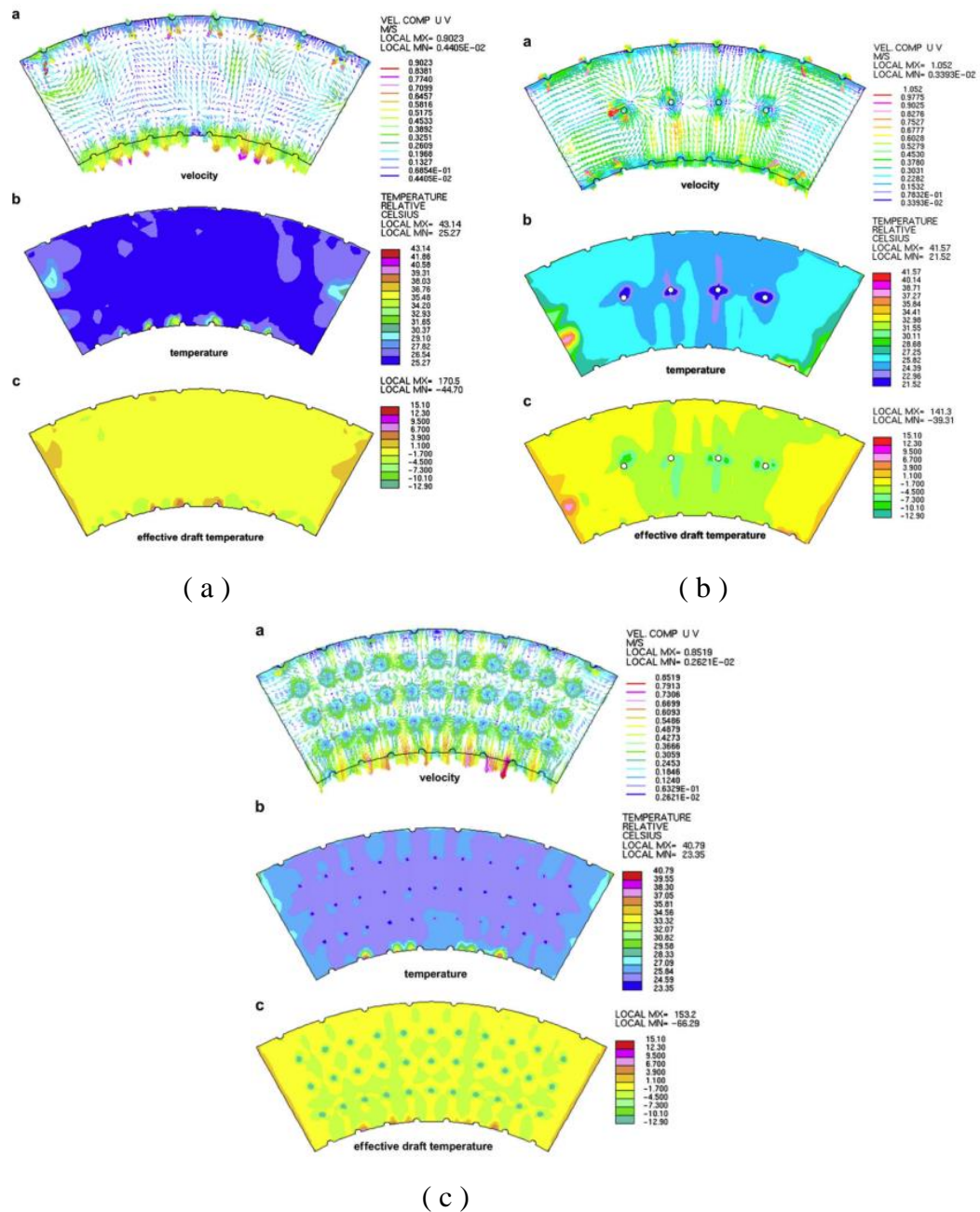
udara pasokan sisi-turun dari 8 diffusers pada ketinggian 15,7 m sepanjang dinding timur dan barat. Sudut pasokan udara adalah 30 ke bawah. Di balik setiap eskalator, ada ruang stopkontak. Outlet diffuser diposisikan pada ketinggian 1,5 m di dinding ruang masing-masing gerai. Dari dua diffusers gerai ini, pembuangan udara di lorong pintu masuk dapat melakukan perjalanan melalui ruang outlet ke ruang pendingin sentral di atap gedung stasiun kereta api.



Gambar 2.12. Tiga jenis skema pasokan AC

(a) supply side (b) pilar (c) langit- langit

Hasilnya Distribusi kecepatan, suhu dan temperatur rancangan efektif pada ketinggian 1,5 m di atas lantai di ruang tunggu dan ruang masuk di bawah tiga jenis skema pasokan udara yang berbeda disajikan pada Gambar.2.15.



Gambar 2.13. Hasil simulasi pada ruang tunggu pada ketinggian 1,5 m diatas lantai (a) supply side (b) pilar (c) langit- langit

Gambar 2.15a menggambarkan lingkungan termal di ruang tunggu ketika skema AC side supply digunakan di ruang tunggu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan udara di daerah occupied dari ruang tunggu sekitar 0,3 m / s, sedangkan suhu di daerah yang diduduki sekitar 26 C. Rancangan suhu efektif sebagian besar wilayah yang diduduki dalam ruang tunggu jatuh dalam kisaran 1,7 °C untuk tH 1,1 °C, memberikan ruang yang nyaman bagi penghuni.

Gambar 2.15b menggambarkan hasil simulasi untuk menunggu lorong bawah operasi pasokan pilar skema AC buatan. Kecepatan udara di sebagian besar wilayah di sekitar pilar di atas 0,3 m / s sedangkan suhu di bawah 24,4 C. Suhu rancangan efektif area yang luas di sekitar pilar kurang dari 1,7 C. Ini adalah occupant zone dengan densitas tinggi, dimana banyak pengunjung akan merasa kedinginan.

Gambar 2.15c menunjukkan hasil ruang tunggu di bawah operasi skema AC pasokan langit-langit. Kecepatan udara di zona bahwa diffusers pasokan langsung menghadap sekitar 0,3 m / s, dengan suhu kurang dari 25 C dan suhu rancangan efektif di bawah 1,7 C.

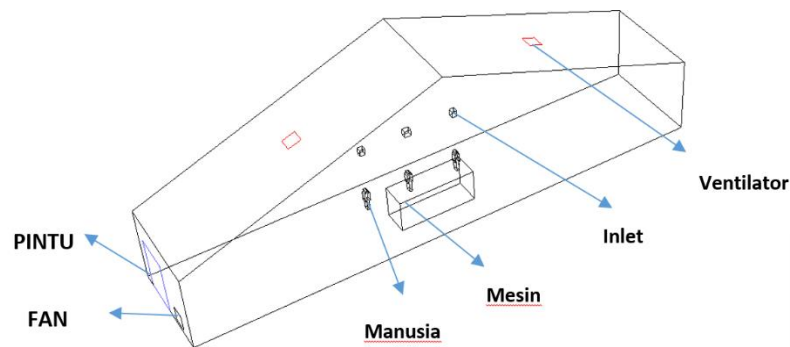
Membandingkan Gambar. 2.15a, b dan c bersama-sama, dapat dilihat bahwa keseragaman baik dari kecepatan, suhu dan distribusi temperatur rancangan yang efektif pada ketinggian 1,5 m di atas lantai dapat dicapai dalam ruang tunggu ketika mengadopsi skema pasokan sisi. Hal ini karena wilayah yang diduduki menunggu hall dalam zona sirkulasi aliran udara di bawah operasi skema pasokan sisi, dan mengubah pasokan suhu udara, kecepatan, ketinggian dan sudut datang memiliki efek yang signifikan pada lingkungan termal di gedung stasiun kereta api.

Penelitian ini menyimpulkan bahwa untuk mendapatkan kenyamanan termal yang memuaskan di wilayah yang diduduki, pertengahan ketinggian bangunan adalah posisi yang baik untuk pasokan udara pendinginan dan sudut 0° dari horisontal adalah sudut pasokan dianjurkan.

Pada tahun 2017, Patricia Manurung [17] mempelajari distribusi temperatur dan kecepatan udara pada unit produksi PT. PERTAMINA Gresik. Analisis dilakukan secara numerik dengan menggunakan software FLUENT 6.3.26., simulasi dilakukan secara 3D single precision, steady, incompressible flow. Model turbulen yang digunakan adalah standard k-ε, solver segregate, pressure based.

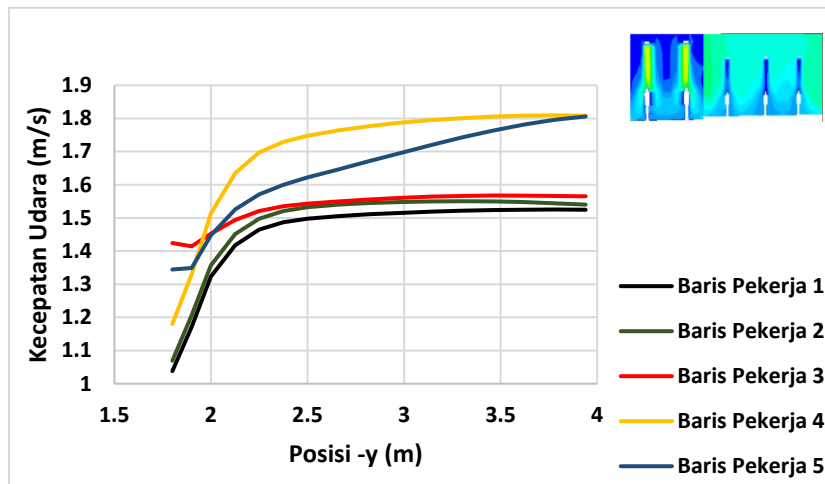
Dengan ketelitian 10^{-6} untuk energy sedangkan untuk continuity, x,y,z velocity, dan k-ε sebesar 10^{-4} .

Model geometri dari ruangan yang disimulasikan dapat dilihat pada gambar 2.16, yang merupakan line 1 dari unit produksi keseluruhan dengan ukuran 8 m x 40 m x 13,4 m. ketinggian diffuser dari lantai sekitar 4,2 m, dengan boundary condition : pintu (pressure inlet), Blower fan (velocity inlet), inlet diffuser (velocity inlet), ventilator (exhaust fan), dan atap,dinding, mesin, manusia (wall). Kecepatan udara suplai yang divariasikan antara lain: 1,5 m/s, 2 m/s, dan 2,5m/s pada temperatur supply 20°C.

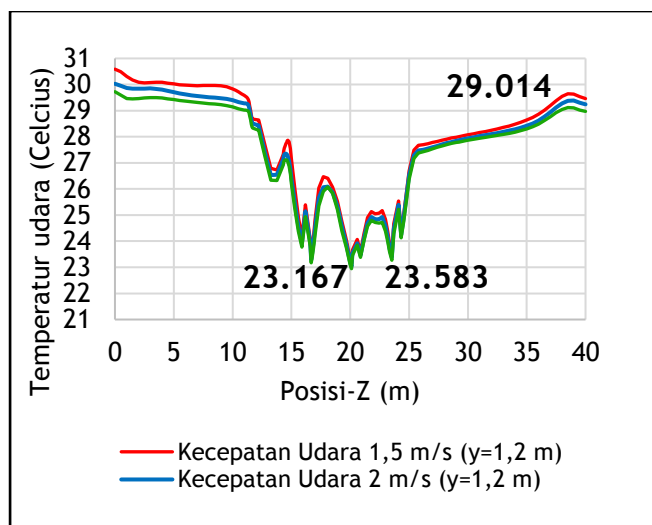


Gambar 2.14. Model Geometri Penelitian Patricia

Simulasi dilakukan menggunakan 2 skema : skema satu, yaitu skema existing dimana simulasi pengkondisian udara dengan menggunakan fan (belum dikondisikan pemakaian diffuser); skema dua, skema dimana sudah dikondisikan pemakaian diffuser (tidak ada penerapan fan) . Hasil simulasi menunjukkan bahwa untuk kecepatan udara suplai 2,5 m/s kecepatan udara sepanjang tubuh pekerja yang dihasilkan berkisar 0.91 m/s – 1,08 m/s, hal ini ditunjukkan pada gambar 2.17, sedangkan pada ketinggian 1.4 m dari lantai sepanjang sumbu Z, temperatur pada posisi pekerja sekitar 23 °C – 25 °C, ditunjukkan pada gambar 2.18.

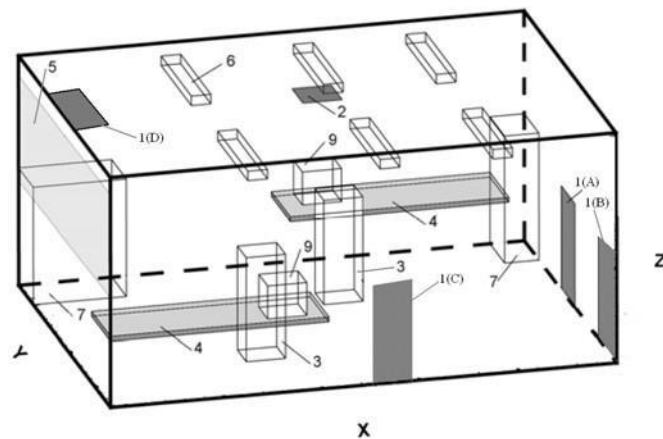


Gambar 2.15. Penurunan kecepatan udara 2,5 m/s terhadap ketinggian pada tiap baris pekerja



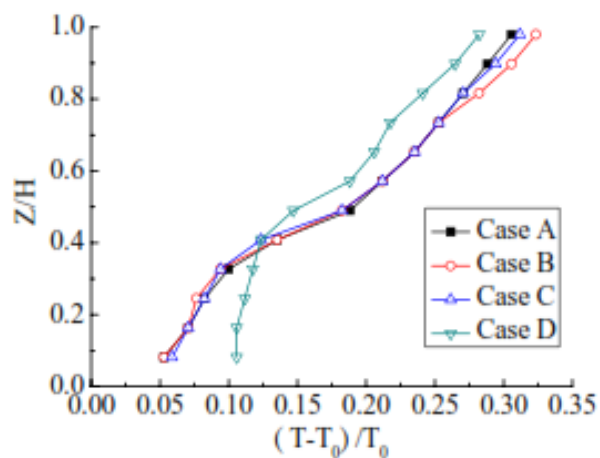
Gambar 2.16. Pengaruh Variasi kecepatan udara pendingin terhadap distribusi temperatur udara pada bidang zy di ketinggian 1,2 m

Yan Huo dkk [19] pada tahun 2009 mempelajari efek dari lokasi diffusers pada aliran udara di kantor ber-AC, dimana baik kondisi udara inlet dan tingkat outlet udara dibuat konstan. Diffuser itu terletak masing-masing di tengah dinding kanan (kasus A), di sudut (kasus B), di tengah dinding depan (kasus C) dan dekat sisi jendela di langit-langit (kasus D), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.19.

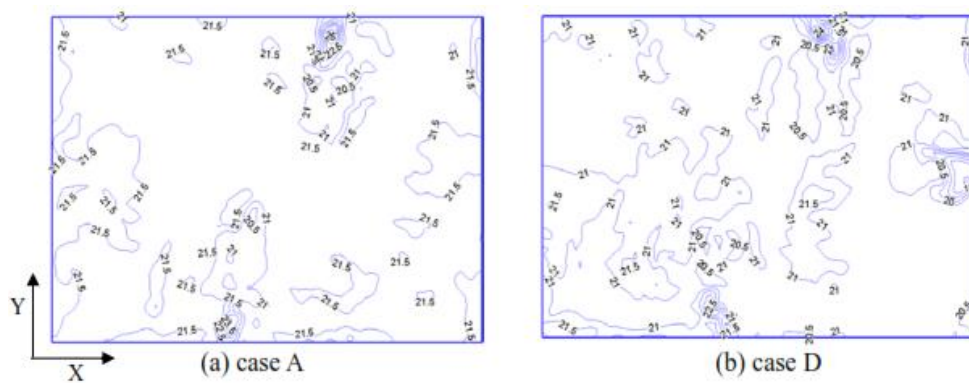


Gambar 2.17. Tata Letak Kantor dengan berbagai posisi Inlet (1-inlet, 2-outlet, 3-orang, 4-meja, 5-jendela, 6- lampu neon, 7-cabinet, 8-komputer)

Ketika diffuser itu di bagian bawah kantor, rasio perubahan suhu dari tiga kasus (A, B dan C) sangat dekat, kecuali suhu dekat langit-langit yang sedikit berbeda, yang menunjukkan bahwa efek dari lokasi yang berbeda pada distribusi suhu kantor tidak signifikan. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.20., Ketika diffuser itu di bagian atas kantor, rasio suhu udara di pusat kantor dengan yang di diffuser menjadi dua kali lebih besar rasio kondisi diffuser di bagian bawah kantor. Oleh karena itu, pengaruh diffuser dengan ketinggian lebih jelas daripada dengan lokasi di ketinggian tertentu dengan suhu.



Gambar 2.18. Temperatur di pusat kantor



Gambar 2.19. Kontur Temperatur pada bidang X-Y pada $Z=1,8$ m

Seperti terlihat pada gambar 2.21, daerah temperatur tinggi terpusat di daerah dekat sumber panas di atas ketika diffuser itu di bagian bawah kompartemen. Ketika diffuser itu terletak di langit-langit, daerah temperatur tinggi disebar ke lingkungan sekitarnya dan suhu turun, yang menunjukkan bahwa lebih berguna untuk difusi panas pada bidang horizontal.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode simulasi numerik dengan menggunakan *software* Fluent 6.3.26. Untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan dilakukan alur penelitian sebagai berikut:

- a. Studi Kasus
- b. Studi Literatur
- c. Pengumpulan Data
- d. Proses Simulasi
- e. Analisis Hasil

3.1 Studi Kasus

Permasalahan yang diangkat adalah seputar kenyamanan termal di area filling lithos dimana suhu udara yang terjadi melebihi kriteria comfort menurut ASHRAE, sehingga di perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui bagaimana distribusi temperatur dan kecepatan udara yang terjadi di area filling lithos PT. PERTAMINA LOBP PUG, serta bagaimana cara mengatasi masalah kenyamanan termal yang terjadi.

3.2 Studi Literatur

Dalam usaha memperoleh hasil dari penelitian yang dilakukan, penelitian ini mengacu pada pembahasan dari literatur yang berkaitan dengan distribusi dan kecepatan udara yang terjadi pada suatu ruangan dan juga literatur mengenai simulasi numerik distribusi temperatur dan kecepatan udara pada suatu ruangan. Dapat diperoleh melalui internet, buku- buku, tutorial , jurnal ataupun penelitian-penelitian terdahulu.

3.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data lapangan didasarkan pada data perusahaan, dimana kondisi existing (kondisi saat ini sebelum penelitian dilakukan) dari area filling

lithos PT. PERTAMINA adalah 34°C untuk temperatur ruangan dan 64% untuk Relative Humidity (RH).

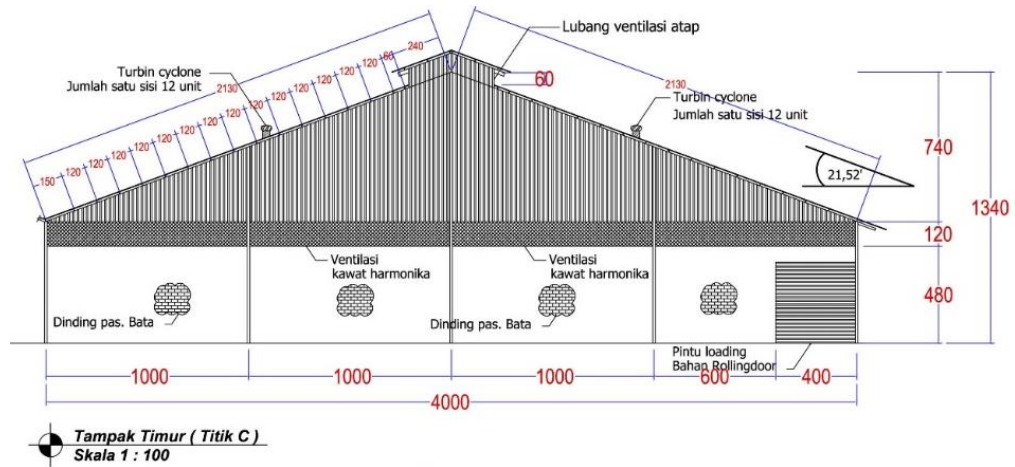
Tabel. 3.1 Kondisi Existing Area Filling

Area/ Peralatan	RH (%)	Temperatur (°C)
Mesin Labeling	63.6	33.3
Mesin Filling	61.7	33.7
Dinding Utara	61.2	33.9
Ruangan bagian tengah	60.5	33.4
Ruangan bagian utara	65.1	33.8
<i>Drum Oven Chamber</i> (DOC)	61.5	33.7
<i>Drum Decenting Unit</i> (DDC)	62.5	32.8
<i>Additive Drum Oven</i> (ADO)	61.8	32.7

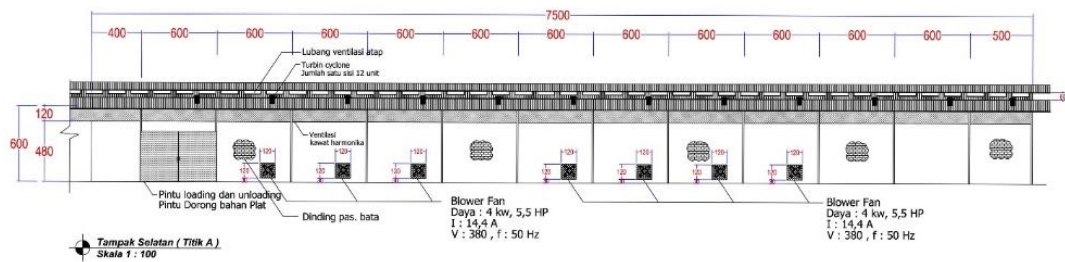
Sedangkan untuk ukuran dari area filling lithos ini diperoleh data sebagai berikut :

- Dimensi ruangan : 75.000 mm x 40.000 mm x 13.400 mm
- Mechanical Ventilator : 24 unit
- *Blower Fan* : 7 unit
 - Dimensi : 1.200 mm x 1.200 mm
 - Daya : 4 kW, 5.5 Hp
 - I : 14.4 A
 - V : 380,
 - F : 50 Hz

Layout Area Filling Lithos PT. PERTAMINA

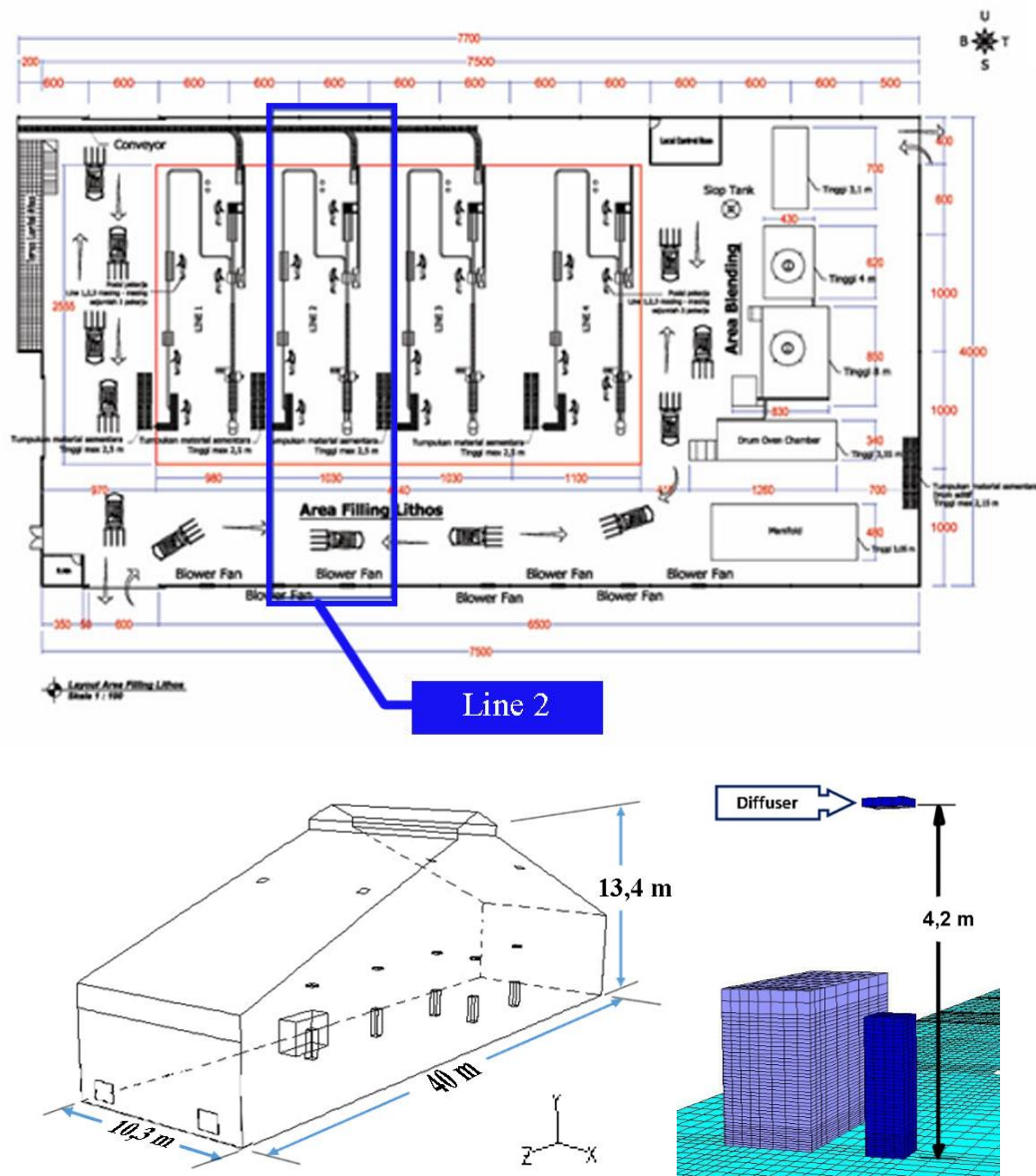


Gambar 3.1. Ruang Filling Lithos Tampak Depan (Timur)



Gambar 3.2. Ruang Filling Lithos Tampak Samping (Selatan)

Untuk mempermudah dalam proses pembuatan model geometri dan proses meshing maka dilakukan simplifikasi ruangan. Simplifikasi ruangan ini meliputi: pemilihan sample area simulasi, menghilangkan konveyor, menyatukan mesin – mesin yang berdekatan sebagai balok panjang, dan estimasi pekerja yang beraktivitas di sekitar mesin. Ruang *sample* yang ditinjau adalah line 2 dari unit filling lithos yang mempunyai ukuran 10.300 mm x 40.000 mm x 13.500 mm. Sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 3.3 Area Penelitian dan Posisi Diffuser terhadap Pekerja

Berdasarkan data dari perusahaan bahwa jumlah pekerja di area filling lithos mencapai 30 orang pekerja, dengan peralatan antara lain : mesin pengisi oli, drum oven chamber, kondensor, mesin pengangkut (*forklift*), serta benda- benda elektronik lainnya yang berpotensi menghasilkan kalor.

Mendinginkan keseluruhan ruangan adalah sangat tidak efisien [18], Oleh karena itu digunakan sistem pengkondisian udara sentral, dengan pendinginan setempat (*spot cooling*) dimana pengkondisian udara cukup dilakukan pada tempat

dimana pekerja berada saja dengan mengarahkan aliran udara dingin ke tempat tersebut, Sehingga beban panas yang harus diatasi adalah beban panas dari pekerja itu sendiri, dimana perolehan kalor dari manusia yang melakukan pekerjaan berdiri dan berjalan jarak dekat sekitar 200 W/m^3 (ASHRAE Fundamental Handbook)

3.4 Proses Simulasi

Simulasi ini dilakukan untuk mendapatkan nilai output yang berupa distribusi kecepatan dan temperatur udara di area filling terutama di permukaan tubuh para pekerja. Sedangkan untuk pemodelan dan simulasi ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GAMBIT 2.4.6 dan FLUENT 6.3.26.

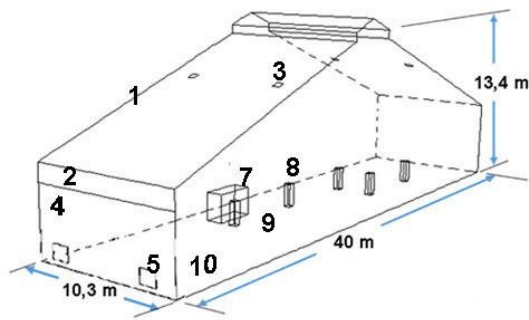
Proses simulasi terdiri dari beberapa tahapan antara lain: *pre-processing*, *solver*, *postprocessing*.

a. Pre-processing

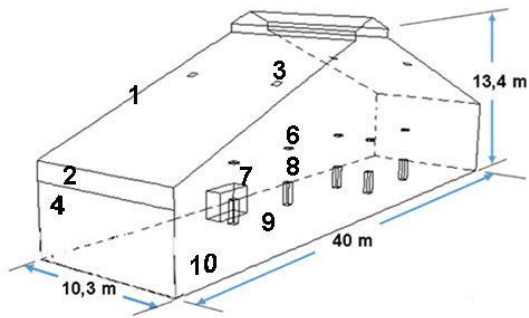
Tahap *pre-processing* adalah langkah pertama dalam membangun dan menganalisis sebuah model CFD. Teknisnya adalah pembuatan geometri menggunakan perangkat lunak GAMBIT 2.4.6, kemudian membuat mesh yang sesuai, serta menerapkan kondisi batas dan sifat fluidanya. Adapun proses yang dilakukan adalah sebagai berikut :

Geometry Modeling

Yaitu menggambar geometri model ruangan menggunakan software Gambit 2.4.6 dimana yang digambar pada penelitian ini adalah line 2 area filling pertamina LOBP, dengan ukuran $10.300 \text{ mm} \times 40.000 \text{ mm} \times 13.400 \text{ mm}$. Geometri model ditunjukkan pada gambar 3.4. Sedangkan domain dari penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.5.



(a)

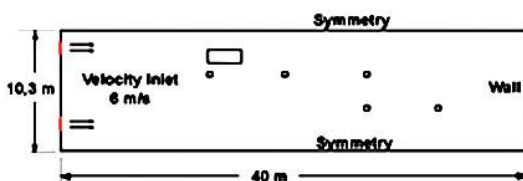
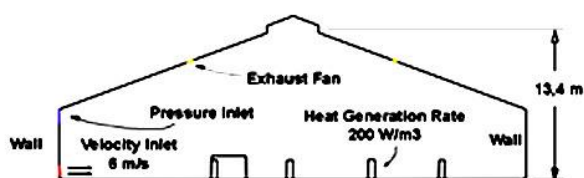


(b)

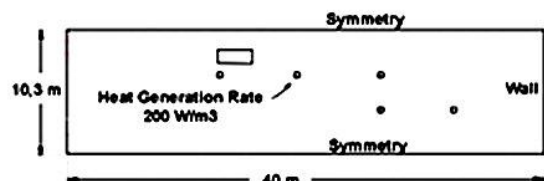
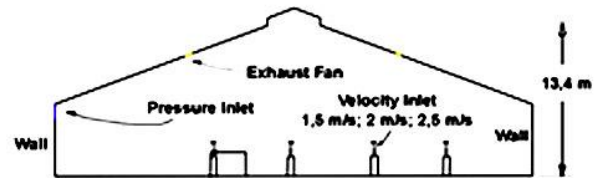
Keterangan :

1. Atap
2. Ventilasi
3. Ventilator
4. Dinding
5. Blower Fan (Kondisi Existing)
6. Diffuser (Kondisi Perencanaan)
7. Mesin
8. Orang/ Pekerja
9. Lantai
10. Dinding Imajiner (batas Line produksi)

Gambar 3.4. Model Geometri (a) Skema Existing (b) Skema Perencanaan



(a)

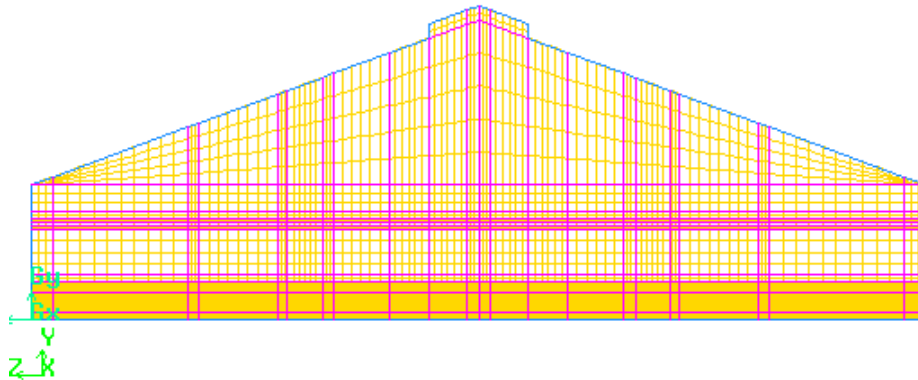


(b)

Gambar 3.5 Domain (a) Existing (b) Perencanaan

Meshing

Setelah membuat geometri, langkah berikutnya adalah melakukan pembagian obyek menjadi bagian-bagian kecil (*grid*) yang prosesnya disebut *meshing*. *Meshing* ini akan sangat mempengaruhi waktu iterasi pada solver, ukuran *mesh* ini juga dibatasi oleh kemampuan komputasi yang digunakan.

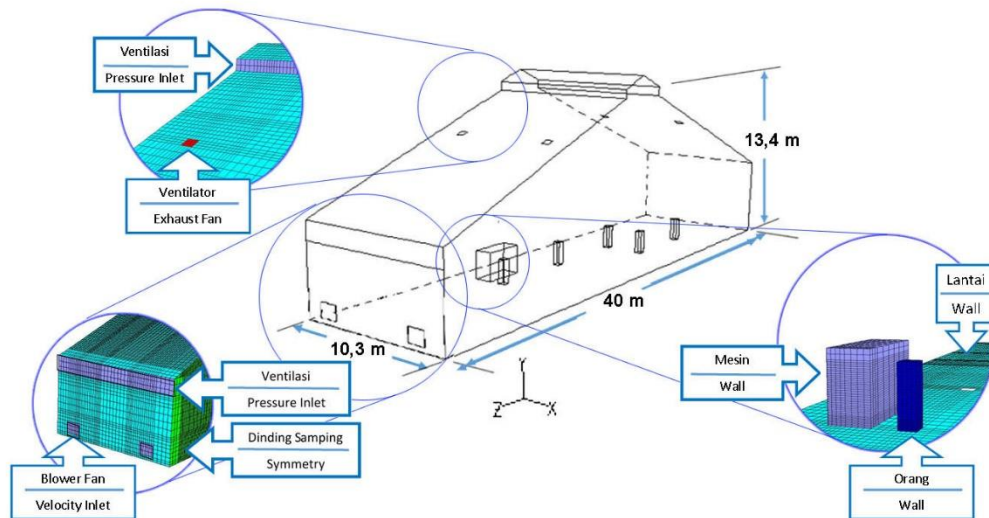


Gambar 3.6. Tampilan Meshing Model

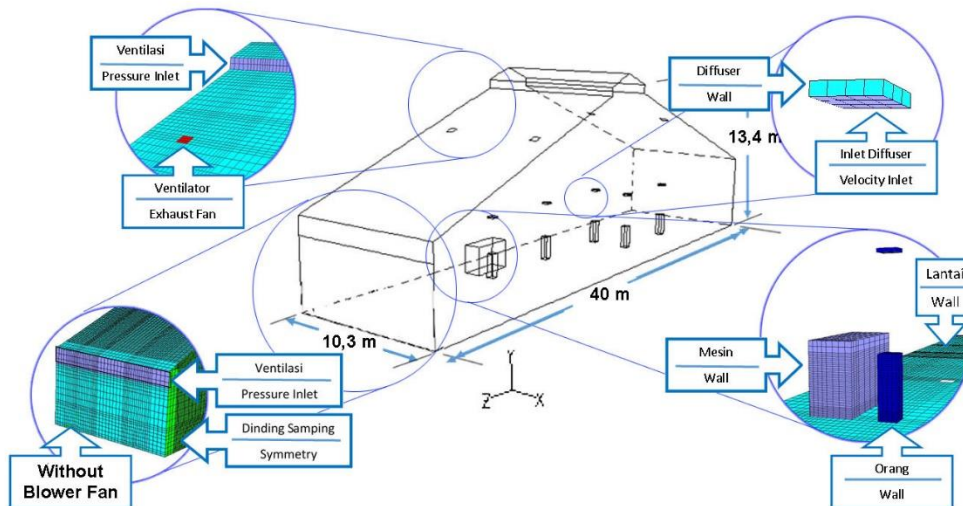
Gbr 3.6. menggambarkan tampilan model area filling line 2 setelah dilakukan proses *meshing*. Model *grid* yang digunakan adalah Hexahedral mesh dan Tetrahedral mesh. Dengan jumlah mesh : 685.374 Cell Mesh; 2.097.985 Faces Mesh; dan 727.788 Node Mesh, dengan merapatkan mesh pada area yang akan dianalisa yaitu sisi para pekerja

Boundary Condition

Boundary Conditions digunakan untuk menspesifikasi kondisi fluida pada *surfaces* dari *fluid domain* juga sub domainnya serta untuk mendefinisikan simulasi alirannya. Pada *fluid boundary* simulasi pemodelan udara terdapat beberapa tipe yaitu *velocity inlet*, *inlet*, *exhaust fan*, *symmetry* dan *wall*, seperti ditunjukkan pada gambar 3.7.



(a)



(b)

Gambar 3.7. Boundary Condition

(a) Kondisi Existing (b) Kondisi Perencanaan

b. Processing

Pada tahap ini hasil *meshing* dari geometri yang telah dibuat di GAMBIT di *export* ke *software* FLUENT 6.3.26. Adapun proses yang dilakukan antara lain:
Solver Models

Pemodelan ini menggunakan *solver 3D double precision (3ddp)*, *segregated* untuk menyelesaikan persamaan secara bertahap (terpisah antara satu

persamaan dengan persamaan yang lain) dan *solver* yang digunakan berbasis tekanan (*pressure based*). *Turbulence model* yang digunakan adalah *standard k-ε*. Persamaan energi diaktifkan dalam mendukung penyelesaian *heat transfer* terhadap perubahan temperatur.

Materials

Dalam tahap ini dilakukan pengaturan *properties* fluida masuk berupa udara dengan temperatur *inlet* sebesar 34°C (=307 K). *Properties* diperoleh dengan melihat tabel A.15 untuk udara pada 1 atm pada buku “*Heat Transfer A Practical Approach 2nd Edition*” karya **Yunus A. Chengel**, antara lain dapat dilihat pada table 3.2.

Tabel 3.2. *Properties* Fluida

<i>Properties</i> Fluida	Besar
Temperatur inlet (C)	34
ρ atau <i>Density</i> (kg/m ³)	1,1488
c_p atau Panas spesifik (kJ/kg.K)	1007
μ atau Viskositas absolute (N.s/m ²)	1,8904 e-05
k atau <i>Thermal Conductivity</i> (W/m.K)	26,2 e-03

Operating Condition

Operating Condition merupakan perkiraan kondisi daerah operasi yang biasanya merupakan perkiraan tekanan pada daerah operasi yakni sebesar 1 atm (=101325 Pa).

Boundary Condition

Informasi variabel yang akan disimulasikan dimasukkan sebagai parameter nilai untuk setiap *boundary condition*. Pada simulasi ini menggunakan kondisi batas sebagaimana ditunjukkan pada tabel 3.3.

Tabel 3.3. *Boundary Condition*

	Model	Boundary Condition	Keterangan
Skema Existing	Blower Fan	Velocity inlet	$V = 6 \text{ m/s}$, $T=34^\circ \text{ C}$
	Ventilator	Exhaust Fan	$P = 0 \text{ Pa (gauge)}$
	Ventilasi	Pressure Inlet	Initial $P=0 \text{ Pa (gauge)}$, $T=34^\circ \text{ C}$
	Atap	Wall	Isothermal $T=50^\circ \text{ C}$
	Lantai, Dinding	Wall	Isothermal $T=34^\circ \text{ C}$
	Mesin	Wall	Isothermal $T=60^\circ \text{ C}$
	Pekerja	Wall	Heat Generation Rate = 200 W/m^3
	Batas Samping	Symmetry	Tidak membutuhkan pengaturan
Skema Perencanaan	Inlet Diffuser	Velocity Inlet	$T=20^\circ \text{C}$, $V= 1,5 \text{ m/s}$; 2 m/s ; $2,5 \text{ m/s}$
	Ventilator	Exhaust Fan	$P = 0 \text{ Pa (gauge)}$
	Ventilasi	Pressure Inlet	Initial $P=0 \text{ Pa (gauge)}$, $T=34^\circ \text{ C}$
	Atap	Wall	Isothermal $T=50^\circ \text{ C}$
	Lantai, Dinding	Wall	Isothermal $T=34^\circ \text{ C}$
	Mesin	Wall	Isothermal $T=60^\circ \text{ C}$
	Pekerja	Wall	Heat Generation Rate = 200 W/m^3
	Batas Samping	Symmetry	Tidak membutuhkan pengaturan

Control and Monitoring Solutions

Solution control untuk metode *steady* yang digunakan adalah metode *pressure-velocity coupling* “SIMPLE” dengan diskritisasi *standar* untuk *pressure* dan *second-order upwind* untuk parameter lainnya. Pada *monitoring solutions* dilakukan pengaturan kriteria *residual* untuk parameter *energy* sebesar 10^{-6} , sedangkan parameter lain diatur tingkat konvergensinya sebesar 10^{-4} .

Menurut AEA *technology* tahap verifikasi dalam menentukan berhasil atau tidaknya simulasi selama proses perhitungan dengan pendekatan *CFD* dilakukan dengan tahapan yaitu konvergen.

c. Postprocessing

Tahap terakhir yaitu *post-processing*, dimana merupakan hasil dari simulasi yang telah dilakukan, yang berupa data kualitatif berupa visualisasi kontur temperatur dan kecepatan udara dan data kuantitatif berupa grafik atau berupa data-data numerik (angka).

3.5 Analisa Hasil

Dari data hasil simulasi diatas, akan dianalisa kesesuaiannya dengan standar kenyamanan termal berdasarkan ASHRAE atau penelitian- penelitian sebelumnya, juga akan dianalisa tentang karakteristik perpindahan panas yang terjadi.

3.6 Perencanaan Air Handling Unit (AHU)

3.6.1. Beban Pendinginan

Perencanaan Air Handling Unit dilakukan dengan dasar pertimbangan *Total Cooling Load* dan kebutuhan udara *supply*.

Berikut ini merupakan sumber yang berpengaruh pada beban pendinginan :

a. Manusia

Data yang diperlukan adalah jumlah orang dan aktivitas yang dilakukan dalam satu ruangan. Data diperoleh dari pihak manajemen gedung

b. Lampu dan Mesin

Data yang diperlukan adalah daya total dari lampu dan mesin yang digunakan dalam satu ruangan. Dapat dilakukan dengan pengamatan langsung.

c. Dinding

Data yang diperlukan adalah material dinding, ketebalan dinding, luas dinding, posisi dinding. Data ini diperoleh dengan pengukuran langsung dan dari pihak manajemen.

d. Lantai

Data yang diperlukan adalah material lantai, luasan lantai dan ketebalan lantai. Data ini diperoleh dengan pengamatan langsung dan dari pihak manajemen.

e. Atap

Data yang diperlukan adalah material dari atap dan ketebalannya. Data diperoleh dari pihak manajemen.

f. Ventilasi

Data yang diperlukan adalah jumlah udara di dalam gedung dan diluar gedung, kelembapan udara di dalam maupun di luar gedung. Data ini diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan higrometer.

Pada penelitian digunakan spot cooling, yaitu diffuser diarahkan pada tiap-tiap pekerja, maka beban yang harus diatasi adalah beban manusia itu sendiri, yaitu sebanyak 30 orang dengan heat generation 200 W/m^3 tiap orang.

3.6.2. Unit Sistem Pengkondisian Udara dan Saluran Udara

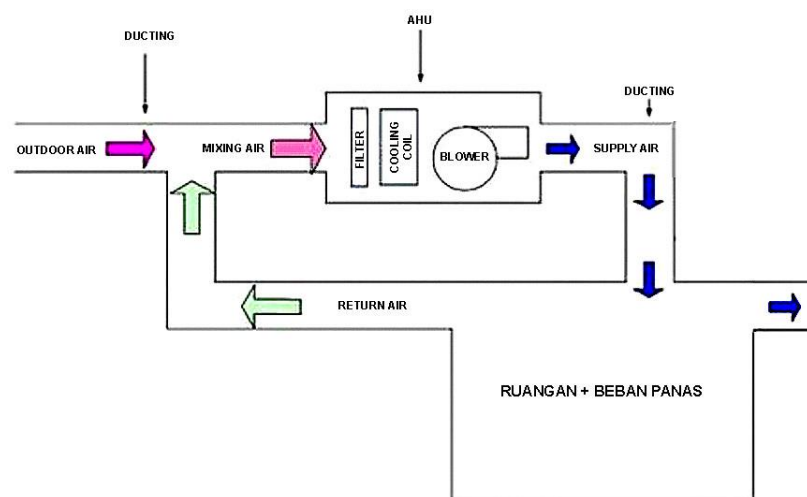
Data yang diperlukan untuk menganalisa sistem pengkondisian udara beserta salurannya adalah :

a. Unit Pengkondisian Udara

Data yang diperlukan adalah spesifikasi unit yang didalamnya termasuk merk, tipe, kapasitas pendinginan, kapasitas udara. Data diperoleh dari pihak manajemen.

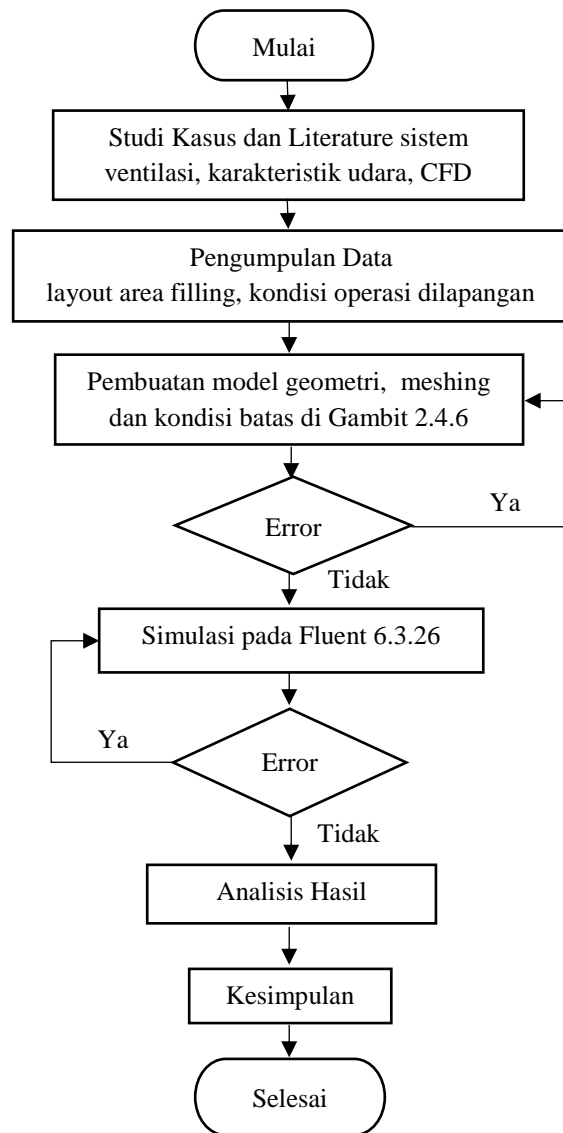
b. Saluran Udara

Data yang diperlukan adalah dimensi dan geometri saluran udara, material penyusun saluran udara, dan temperatur udara di dalam saluran udara. Data fisik saluran udara diperoleh dari pihak manajemen, sedangkan data temperatur diperoleh dari hasil pengukuran dengan menggunakan termometer.



Gambar 3.8 Skema Sistem Pengkondisian Udara

3.7 Flow Chart Penelitian



Gambar 3.9. Flow Chart Penelitian

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

ANALISIS HASIL

Simulasi terhadap distribusi temperatur dan kecepatan udara di area filling lithos PT. PERTAMINA dilakukan dengan menggunakan software FLUENT 6.3.26. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kecepatan udara suplai pada inlet diffuser terhadap kenyamanan termal yang terjadi di area filling lithos, melalui kontur distribusi temperatur dan kecepatan udara yang dihasilkan dari proses simulasi, sebelum melakukan simulasi dilakukan *grid independency* untuk mencari meshing yg tepat, setelah diperoleh meshing yang tepat, dilakukan proses simulasi terhadap kondisi *existing*, dengan kecepatan *blower fan* 6 m/s, selain itu juga dilakukan proses simulasi perencanaan dengan udara dingin sebesar 20°C melalui inlet diffuser yang terletak 2,5m diatas masing-masing pekerja atau dengan ketinggian 4,2m diatas lantai, dan variasi kecepatan inlet diffuser : 1,5 m/s, 2 m/s, dan 2,5 m/s. Data hasil penelitian ditampilkan dalam tabel pada lampiran

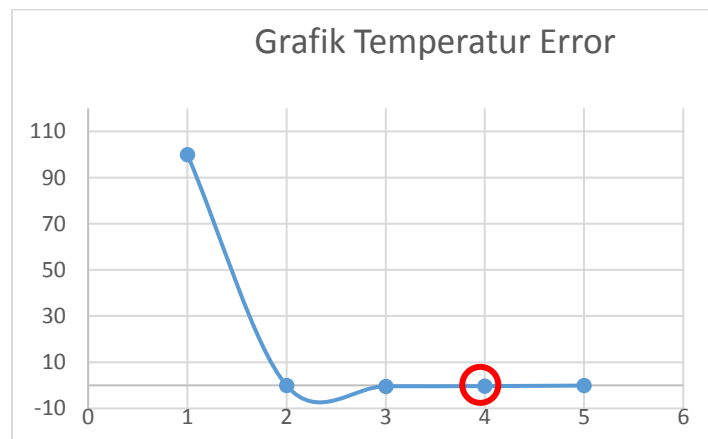
4.1. *Grid Independency*

Grid independency dilakukan dengan meningkatkan resolusi dari rapat renggang mesh agar hasil simulasi tidak berubah terhadap meshing. Kerapatan dari mesh sangat mempengaruhi hasil dan waktu simulai, oleh karena itu perlu untuk mengetahui mesh yang tepat. *Grid independency* pada simulasi ini menggunakan 5 variasi mesh.

	Mesh 1	Mesh 2	Mesh 3	Mesh 4	Mesh 5
Jumlah cell	145,914	253,806	469,590	685,374	901,158
Jumlah face	447,295	777,433	1,437,709	2,097,985	2,758,261
Jumlah node	155,598	270,036	498,912	727,788	956,664

Ketika melakukan *grid independency*, *geometry*, model viscous kelima mesh adalah sama. Hasil simulasi yang dibandingkan adalah Temperatur udara searah sumbu Z pada koordinat $x=-3,5$ m, dan sumbu $y=1,4$ m. berikut adalah hasilnya :

Mesh	Temperatur	Error
1	35.082	100
2	35.059	0.0656
3	34.924	0.3865
4	34.811	0.3246
5	34.774	0.1064



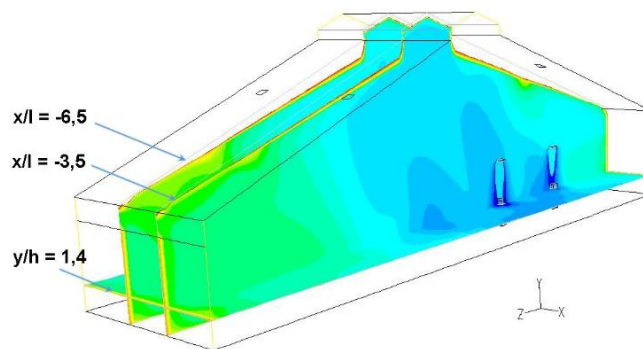
Gambar 4.1. Grafik Temperatur Error

Nilai error dari temperatur pada masing- masing mesh yang diuji, diplot dalam grafik. Dan diperoleh mesh ke-empat memiliki error yang tidak banyak berubah. Oleh karena itu, mesh 4 dianggap memenuhi grid independency

4.2. Area Pengamatan

Simulasi terhadap area filling lithos ini menggunakan software FLUENT 6.3.26, Tahap terakhir dari proses simulasi ini adalah *post-processing* yang

merupakan hasil dari simulasi yang telah dilakukan, setelah proses iterasi dilakukan maka diperoleh hasil berupa kontur distribusi kecepatan udara dan kontur distribusi temperatur udara, berupa gambar (*visual*) atau berupa data-data numerik (angka). Kontur yang ditampilkan yaitu pada sumbu X (x/l), sumbu Y (y/h), dan sumbu Z (z/w). Data kualitatif berupa visualisasi kontur temperatur dan kecepatan udara. Gambar 3.6 menunjukkan bidang yang akan dianalisis dimana diharapkan mewakili profil distribusi temperatur dan kecepatan udara baik untuk kondisi existing maupun kondisi perencanaan.



Gambar 4.2. Bidang Pengamatan

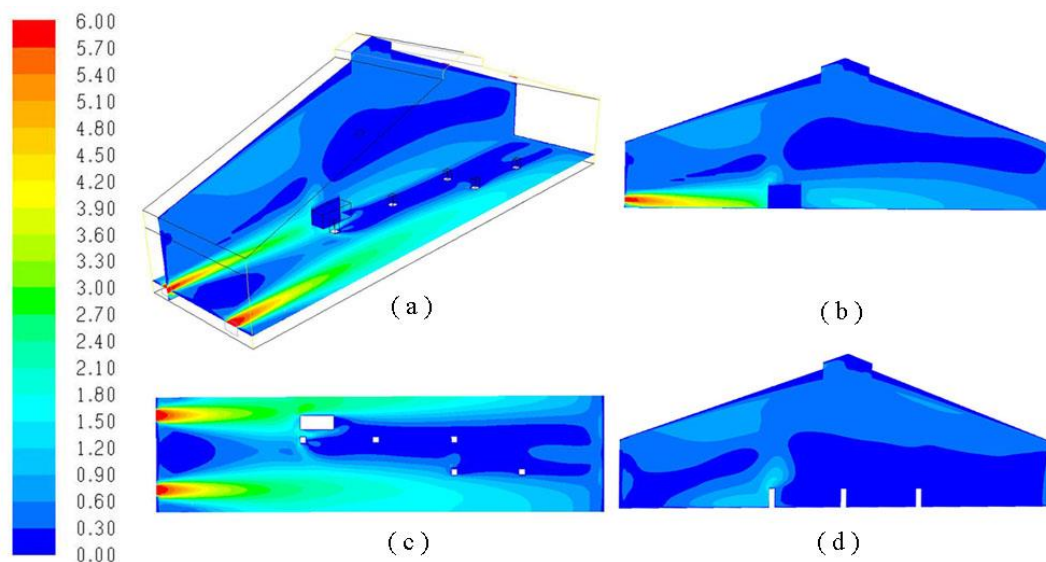
Melalui potongan *iso-surface* tersebut didapatkan bidang 2 dimensi. Untuk bidang x diambil *iso-surface* $x/l=-3,5$ dan $x/l=-6,5$ dimana bidang $x/l=-3,5$ adalah bidang dimana orang ke-empat dan ke-lima berdiri, sedangkan bidang $x/l=-6,5$ adalah bidang dimana orang pertama, ke-dua, dan ke-tiga berdiri. Untuk bidang y diambil $y/h=1,4$ dimana bidang ini berada pada ketinggian 1,4 m dari lantai, atau setinggi bahu orang dewasa.

Untuk mengetahui karakteristik daerah analisa pada baris pekerja, maka perlu diambil data dari simulator. Data yang diperoleh yakni data mentah yang nantinya akan diolah menjadi grafik. Grafik yang akan dibahas pada analisa kuantitatif adalah grafik kecepatan udara lokal, *nusselt number*, dan koefisien *heat transfer* yang akan ditinjau dari tiap-tiap posisi pekerja dalam baris 1 – 5.

4.3. Analisa Skema Existing

4.3.1. Distribusi Kecepatan udara

Pada skema existing, disimulasikan kondisi ruangan dengan pengkondisian udara berupa blower fan dengan kecepatan 6 m/s. Kontur kecepatan udara yang dihasilkan melalui simulasi pada skema existing ini, ditunjukkan pada gambar 4.3, dimana dari visualisasi tersebut dapat dilihat bahwa udara masuk ruangan melalui blower fan, menyebar secara mendatar dengan kecepatan tertinggi berada di ujung inlet blower fan sebesar 6 m/s, dan mencapai jarak 13 m dengan kecepatan sebesar 2,7 m/s dan terus mengalami perlambatan.



Gambar 4.3. Kontur Kecepatan Hasil Simulasi Skema Existing

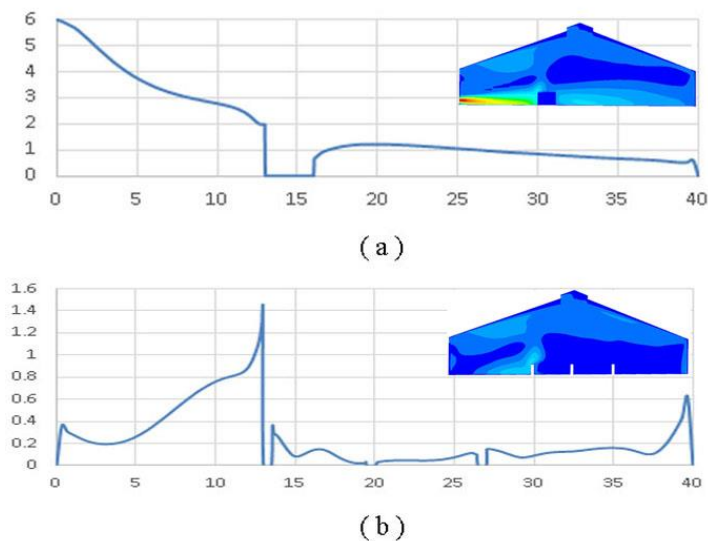
(a) Pandangan Isometri (b) Bidang $x/l = -8,6$

(c) Bidang $y/h = 0,9$ (d) Bidang $x/l = -6,5$

Temperatur udara yang dibawa fan lebih rendah daripada panas yang dihasilkan manusia, mesin, dan temperatur akibat cuaca, dimana udara dingin memiliki densitas lebih tinggi dan cenderung bergerak kebawah, sebaliknya udara panas memiliki densitas rendah dan cenderung bergerak ke atas, akibatnya kecepatan udara yang terjadi didalam ruangan berbeda disetiap daerah, secara keseluruhan udara yang terjadi di ruangan masih rendah yaitu sekitar 0,3 – 1,2 m/s.

Gambar 4.3b menunjukkan bahwa blower fan tidak mampu mempertahankan kecepatan konstan, kecepatan udara sebesar 5,7 – 6 m/s hanya mampu dipertahankan pada jarak 2 m dari fan, kemudian turun hingga mencapai 2,7 m/s pada jarak 13 m, aliran bergerak naik keatas setelah menabrak mesin dan mengalami perlambatan, selain keatas dari gambar 4.3b juga terlihat udara bergerak disamping kiri mesin, kecepatan udara ini terus menurun dan pada jarak 20 – 40 m kecepatan udara berkisar 0.3 -1,2.

Gambar 4.3d merupakan visualisasi kontur kecepatan pada bidang $x/l = -8.6$, dimana bidang ini merupakan bidang tempat para pekerja berada, dari gambar tersebut dapat dilihat kecepatan udara pada occupied zone atau daerah dimana pekerja berdiri berada pada kisaran 0 – 1,2 m/s



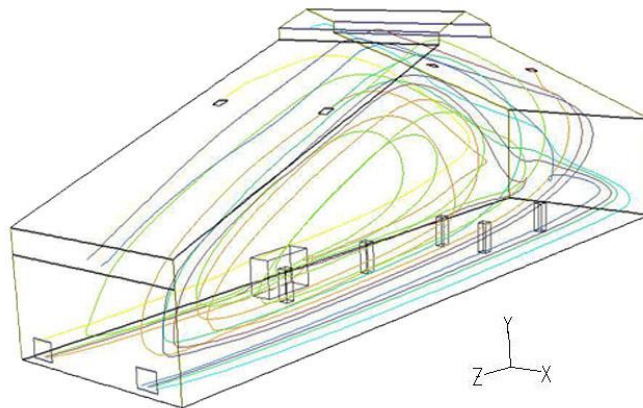
Gambar 4.4. Grafik Kecepatan Hasil Simulasi Skema Existing

(a) Grafik $y=0,9$ pada bidang $x/l = -8,5$

(b) Grafik $y=0,9$ pada bidang $x/l = -6,5$

Grafik pada gambar 4.4a, merupakan plotting kecepatan udara sepanjang garis $y=0,9$ pada bidang $x/l = -8,5$. Garis mendatar sekitar kecepatan 5,7 – 6 m/s bertahan sampai jarak 2 m/s, kemudian menurun hingga kecepatannya mencapai 2,7 m/s pada jarak 13 m dari fan. Setelah menabrak mesin, kecepatannya berkurang sampai 1,2 m/s hingga 0,3 m/s.

Grafik pada gambar 4.4b, merupakan plotting kecepatan udara sepanjang garis $y=0,9$ pada bidang $x/l=-6,5$, dimana pada jarak 13m kecepatan udara mencapai 1,2 m/s dimana ini merupakan kedudukan pekerja 1, sedangkan pada jarak 19 m dan 26 m yang merupakan kedudukan pekerja 2 dan 3 kecepatan udara mencapai 0 – 0,1 m/s.



Gambar 4.5. Pathline Kecepatan Udara pada Kondisi Existing

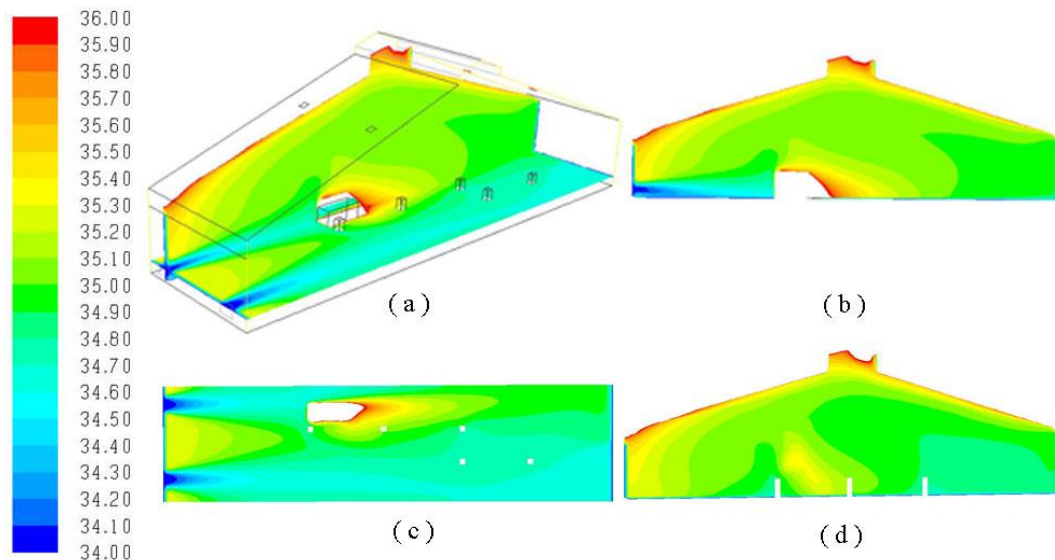
Gambar 4.5 diatas menunjukkan aliran udara dari blower fan ke dalam ruangan filling lithos, dari gambar tersebut terlihat bahwa aliran udara menyebar secara mendatar kemudian terpecah ke beberapa arah ketika menabrak mesin, kemudian bergerak ke atas, sebagian keluar lewat ventilasi atas dan bawah, dan sebagian lagi, ikut berputar lagi bersama aliran udara yang baru masuk. Aliran udara yang terpecah sesaat setelah menabrak mesin menyebabkan aliran tidak memenuhi ruangan seluruhnya, khususnya daerah occupied zone.

4.3.2. Distribusi Temperatur Udara

Udara panas di dalam ruangan filling lithos berasal dari heat gain pekerja, mesin dan temperatur cuaca, *Blower Fan* mengalirkan udara dari luar ruangan (*outdoor air supply*) dimana temperatur udara pada inlet fan sebesar 34 °C, Distribusi temperatur udara pada skema existing ditunjukkan pada gambar 4.6, pada daerah inlet fan udara memiliki temperatur 34 °C , temperatur ini semakin naik ketika menjauhi fan, dan mencapai 34,5 °C pada jarak 5 m dari blower fan, terlihat kontur bergerak kebawah karena udara yang lebih dingin cenderung bergerak kebawah, karena pola aliran udara tersebar saat menabrak mesin dan blower fan

membawa udara panas dari luar (outdoor air supply) ke dalam ruangan, suhu udara di area pekerja berada tidak dapat didinginkan oleh blower fan. Suhu udara di zona yang di duduki masih tinggi, yaitu pada suhu udara 34 - 36 °C. Nilai ini melebihi standar kenyamanan termal yang ditentukan oleh ASHRAE.

Bagian atas ruangan juga memiliki suhu udara yang tinggi karena radiasi matahari yang diterima melalui atap, yaitu pada kisaran 36 - 39 °C, begitu juga dengan daerah sekitar mesin yang masih mencapai 36-38 °C, suhu udara pada ketinggian 2 - 4 m dari permukaan lantai berada pada kisaran 35,5 °C. Temperatur udara di ruangan masih sangat tinggi dan tidak sesuai untuk suhu udara yang efektif bagi pekerja.



Gambar 4.6. Distribusi Temperatur pada Kondisi Existing

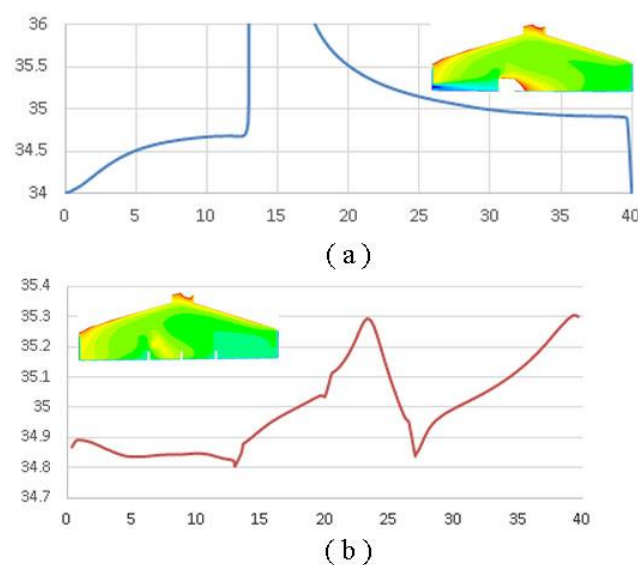
(a) Pandangan Isometri (b) Bidang $x/l = -8,6$

(c) Bidang $y/h = 0,9$ (d) Bidang $x/l = -6,5$

Grafik pada gambar 4.7a merupakan plotting temperatur udara sepanjang garis $y=0,9$ pada bidang $x/l = -8,5$. Grafik ini menunjukkan temperatur dari inlet fan terus naik sampai temperatur 34,6 °C pada jarak sekitar 6 m dari fan dan mendekati stabil di 34,6 °C sampai jarak 13 m. Daerah setelah mesin memiliki

temperatur yang tinggi berkisar 36 – 38 °C kemudian turun dan stabil di 35 °C pada jarak 20 – 40 m.

Grafik pada gambar 4.7b, merupakan plotting temperatur udara sepanjang garis $y=0,9$ pada bidang $x/l=-6,5$, dimana temperatur yang terjadi berfluktuasi antara 34.8 – 35.3 °C dan pada jarak 13 m, 19 m, dan 26 m yang merupakan posisi kedudukan pekerja 1-3 berada pada range temperatur 34.8 – 35 °C dan nilai ini melebihi standar kenyamanan termal yang ditentukan oleh ASHRAE.



Gambar 4.7. Grafik Temperatur Hasil Simulasi Skema Existing

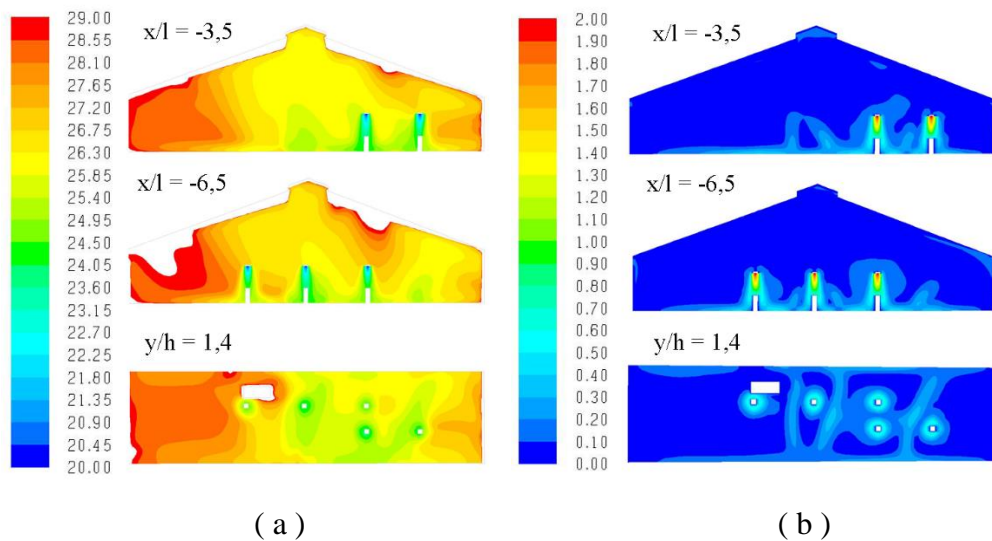
(a) Grafik $y=0,9$ pada bidang $x/l=-8,5$

(b) Grafik $y=0,9$ pada bidang $x/l=-6,5$

4.4. Analisa Skema Perencanaan

Pada skema perencanaan, posisi diffuser terletak pada ketinggian 4,2 m dari permukaan lantai, dan temperatur udara pendingin yang dihembuskan sebesar 20 °C, untuk distribusi kecepatan dan temperatur yang dihasilkan oleh suplai udara dengan kecepatan 2 m/s ditunjukkan melalui gambar 4.8.

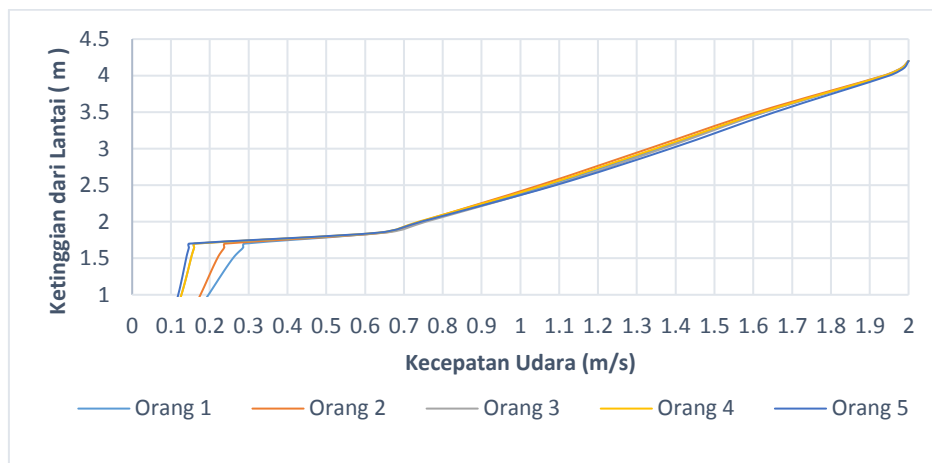
4.5.



Gambar 4.8. Hasil Simulasi Kecepatan Udara Suplai 2 m/s
(a) Kontur Temperatur (b) Kontur Kecepatan

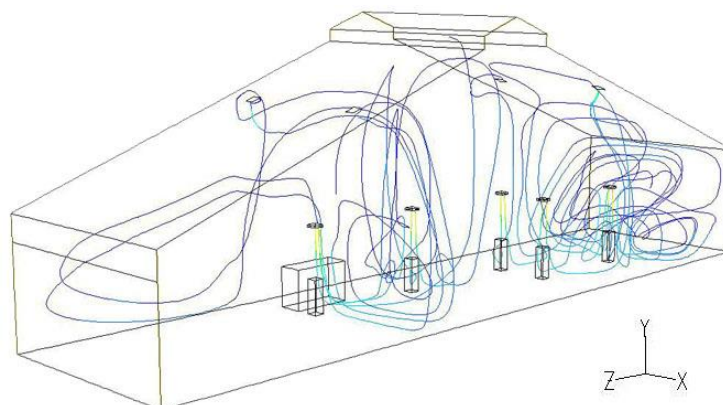
Gambar 4.8b menunjukkan bahwa kecepatan udara setelah keluar dari inlet diffuser semakin turun. Kecepatan udara pada inlet diffuser sebesar 2 m/s dan terus turun sampai ketinggian pekerja, pada ketinggian ini yaitu sekitar 1,7 m dari lantai, kecepatan udara sebesar 0,7 m/s dan kecepatan udara pada tiap baris pekerja berada pada rentang 0,1 – 0,3 m/s. Melalui kontur kecepatan udara ini juga dapat dilihat kecepatan udara disekitar bangunan berada pada rentang 0 – 0,4 m/s, hal ini menunjukkan adanya sirkulasi aliran yang terbentuk akibat efek *buoyancy* udara pendingin dan udara panas di dalam ruangan.

Pada gambar 4.8a Kecepatan udara suplai melalui inlet diffuser sebesar 2 m/s mampu mendinginkan temperatur udara pada *occupied zone*, terlihat kontur temperatur udara pada baris pekerja 1 – 5 pada rentang 23,6 °C – 25,4 °C. Kontur temperatur udara ruangan memiliki temperatur udara sebesar 26,3 °C – 29 °C.



Gambar 4.9. Grafik Kecepatan Udara pada Kondisi Perencanaan

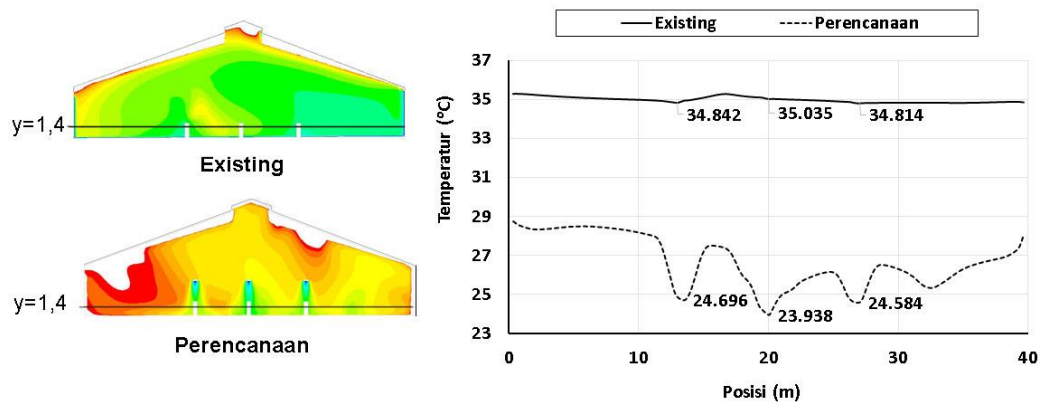
Gambar 4.9 menunjukkan grafik penurunan kecepatan udara dari inlet diffuser sampai sisi para pekerja, dimana dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa kecepatan udara turun hampir linear dari kecepatan 2m/s sampai kecepatan 0,7 m/s pada ketinggian para pekerja yaitu sekitar 1,7 m dari lantai. Kemudian udara akan menyebar dan bergerak disepanjang tubuh para pekerja dengan kecepatan udara sebesar 0,12 – 0,27 m/s pada posisi ketinggian 1 – 1,7 m dari lantai.



Gambar 4.10. Pathline Aliran Udara pada Kondisi Perencanaan

Gambar 4.10 menunjukkan vector aliran udara dingin dari inlet diffuser, dimana udara akan turun perlahan dan terpecah saat menabrak manusia, udara memiliki sifat tidak mampu berbelok secara tiba-tiba, sehingga akan bergerak membentuk sudut tertentu, kemudian udara akan melintasi tiap sisi manusia,

sebagian aliran udara juga dipengaruhi efek *buoyancy force* di daerah dekat tubuh pekerja dan peralatan yang ada di dalam bangunan. Kemudian udara ini akan menyebar lebih luas ketika mencapai lantai, berbelok dan kemudian aliran udara akan mengalir keatas dan akan jatuh lagi karena udara dingin memiliki densitas yang tinggi, sehingga memiliki kecenderungan bergerak kebawah. Demikian udara mengalir seterusnya, sehingga udara dingin akan tersebar ke dalam ruangan.

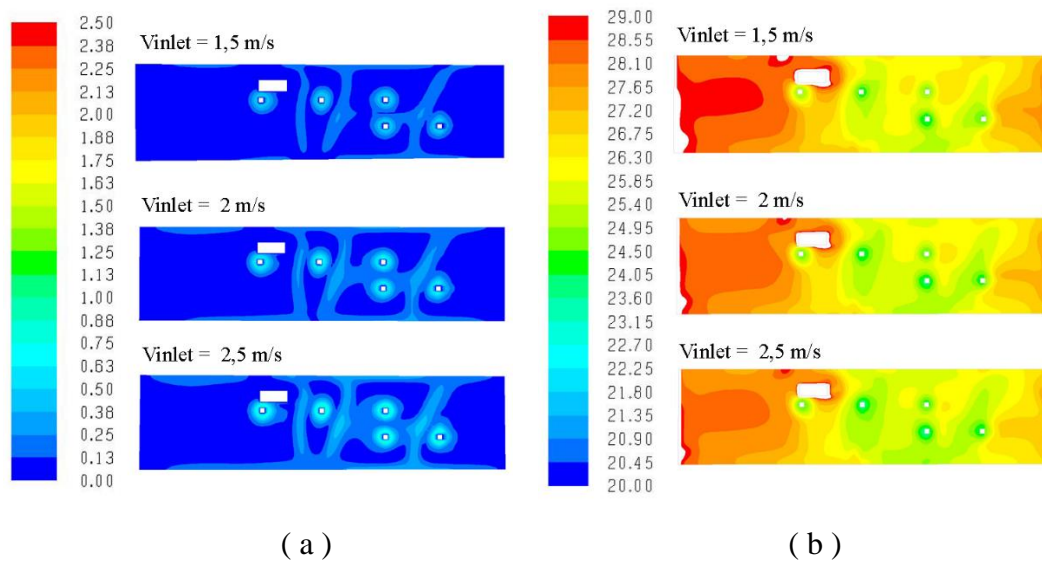


Gambar 4.11. Grafik Kontur Temperatur Existing VS Perencanaan

Dari Grafik 4.11. diatas dapat diketahui bahwa dengan adanya aliran udara dingin melalui inlet diffuser pada masing- masing pekerja, ruangan yang semula hanya bisa didinginkan hingga suhu 35 °C dengan menggunakan blower fan, mampu didinginkan hingga temperatur 26 °C – 29 °C dan suhu di tempat pekerja berdiri (*occupied zone*) mencapai 23,8 °C – 25 °C. Terjadi peningkatan penurunan suhu sebesar 30% dibanding kondisi existing, sehingga penambahan diffuser ini diharapkan mampu mengatasi kenyamanan termal yang terjadi.

4.4.1. Pengaruh Variasi Kecepatan Udara

Skema perencanaan adalah skema dimana udara mengalir melalui diffuser dengan variasi kecepatan udara 1,5 m/s, 2 m/s dan 2,5 m/s. Posisi diffuser terletak pada ketinggian 4,2 m dari permukaan lantai dan menghembuskan udara pendingin yaitu 20 °C.

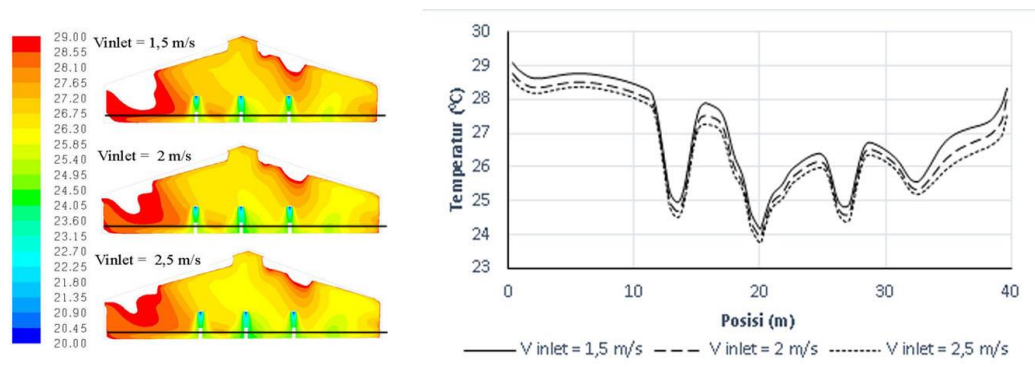


Gambar 4.12. Pengaruh Variasi Kecepatan Inlet Diffuser pada
(a) Kecepatan Udara Ruang (b) Temperatur Udara Ruang

Gambar 4.12 menunjukkan distribusi temperatur dan kecepatan udara pada bidang $y/h=1,4$ yang dihasilkan dari simulasi variasi kecepatan inlet diffuser $1,5 \text{ m/s}$, 2 m/s dan $2,5 \text{ m/s}$, Gambar 4.12a menunjukkan bahwa variasi kecepatan udara yang diberikan tidak memberikan perbedaan yang signifikan pada distribusi kecepatan udara di dalam ruangan.

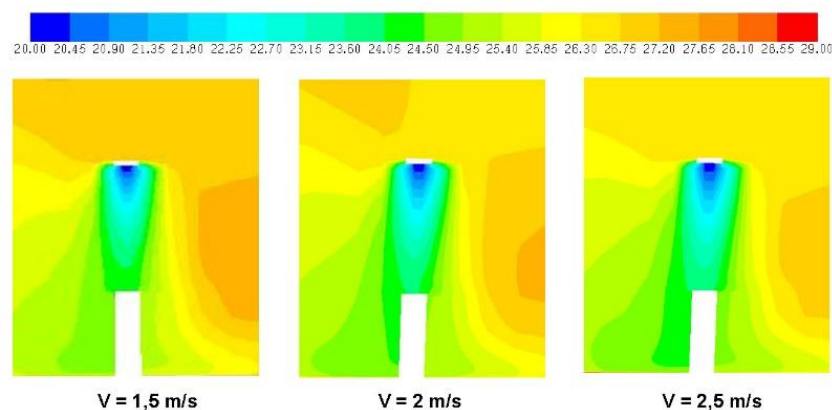
Gambar 4.12b menunjukkan kontur distribusi temperatur udara, dimana semakin tinggi kecepatan udara inlet diffuser, temperatur udara didalam ruangan semakin dingin, hal ini ditunjukkan melalui distribusi warna merah yang semakin kecil luasannya seiring dengan meningkatnya kecepatan udara suplai yang diberikan, digantikan oleh kontur warna orange yang lebih dingin.

Gambar 4.13 menunjukkan plotting temperatur udara pada garis $y=1,4$ pada bidang $x/l=-6,5$ pada masing- masing variasi kecepatan inlet diffuser. Grafik ini menunjukkan bahwa temperatur udara akan semakin dingin seiring meningkatnya kecepatan udara pada inlet diffuser, Variasi ketiga kecepatan inlet diffuser menghasilkan suhu yang nyaman bagi pekerja sekitar $23.8 - 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

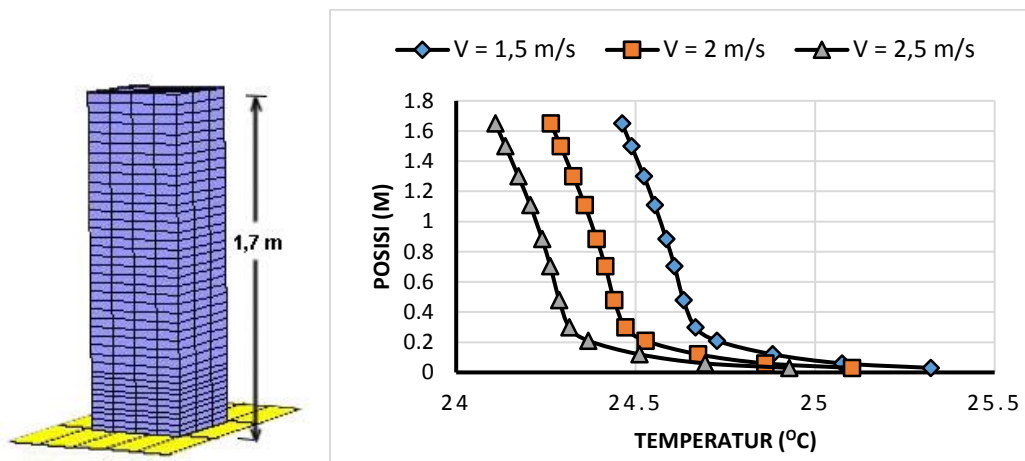


Gambar 4.13. Pengaruh Variasi kecepatan udara pendingin terhadap distribusi temperatur udara bidang $x/l = 6,5$ pada ketinggian 1,4 m dari lantai

Dengan bertambahnya kecepatan udara suplai melalui inlet diffuser maka temperatur udara pada ruangan juga lebih dingin, hal ini bisa dilihat pada grafik 4.13, dimana untuk garis kurva akan bergerak kebawah ketika kecepatan inlet diffuser dinaikkan. Gambar 4.14 menunjukkan distribusi temperatur pada pekerja 5 dimana semakin mendekati lantai temperatur pada permukaan tubuh pekerja semakin panas, hal ini terjadi karena temperatur sekitar semakin panas ketika mendekati lantai. Ketika divariasikan kecepatan inlet diffuser, semakin besar kecepatan inlet diffuser, temperatur udara di permukaan tubuh pekerja akan semakin dingin, hal ini terlihat dari kontur warna hijau yang terus bergerak turun ketika kecepatan inlet diffuser dinaikkan.

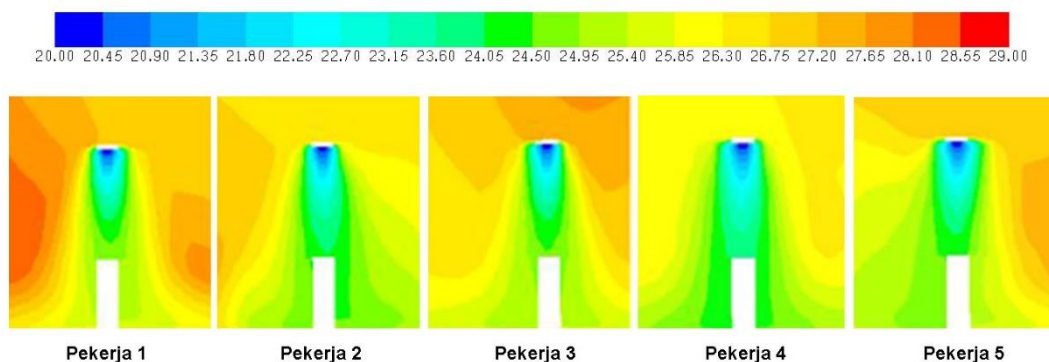


Gambar 4.14. Kontur Temperatur pada Pekerja 5 Pengaruh dari Variasi Kecepatan Inlet Diffuser

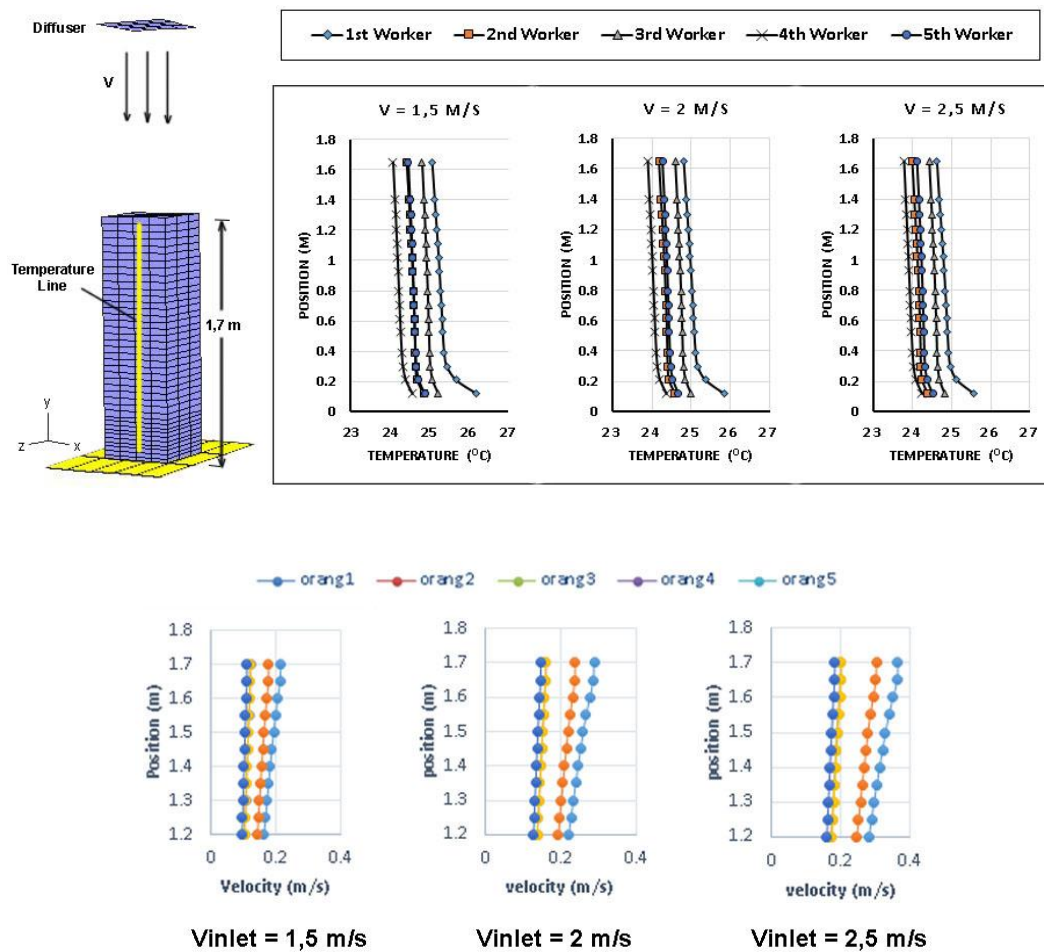


Gambar 4.15. Grafik Distribusi Temperatur terhadap Ketinggian Pekerja 5
Pengaruh dari Variasi Kecepatan Inlet Diffuser

Pengaruh kecepatan udara pada inlet diffuser pada pekerja yang lain, ditunjukkan melalui gambar 4.16, dimana temperatur pada permukaan tubuh pekerja 1 paling tinggi dibandingkan yang lain, disusul pekerja 3 kemudian pekerja 5, sedangkan temperatur pada pekerja 2 dan 4 paling dingin, hal ini diakibatkan karena pekerja 2 dan 4 berada diantara pekerja yang lain, dimana selain mendapat pengaruh dari diffuser yang berada di atasnya, juga mendapat pengaruh dari diffuser diatas pekerja 1,3, dan 5. Distribusi temperatur lebih detail ditunjukkan pada grafik pada gambar 4.17, dimana grafik paling kanan adalah yang paling panas, temperatur pada bagian bawah pekerja terlihat naik dengan tajam, hal ini dikarenakan mendapat pengaruh panas dari lantai.



Gambar 4.16. Pengaruh Kecepatan Inlet Diffuser terhadap Posisi Pekerja



Gambar 4.17. Grafik Distribusi Temperatur dan Kecepatan Udara Sepanjang Sisi Pekerja

Gambar 4.17 menunjukkan distribusi kecepatan udara sekitar tubuh pekerja, dimana distribusi kecepatan udara sekitar pekerja terus menurun seiring dengan semakin jauhnya posisi dari inlet diffuser, kecepatan inlet 1,5 m/s lebih memenuhi standar kenyamanan menurut ASHRAE yaitu dibawah 0,25 m/s.

4.5. Karakteristik Perpindahan Panas

4.5.1. Contoh Perhitungan

Analisa dilakukan dengan memvariasikan kecepatan udara, yaitu 1,5 m/s ; 2 m/s ; 2,5 m/s. Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil perhitungan akan digunakan untuk menganalisa hasil simulasi. Berikut adalah contoh perhitungan pengaruh kecepatan udara 2,5 m/s.

1. Mencari Reynolds Number

Rumus yang digunakan untuk mencari nilai dari *Reynolds Number* menggunakan pendekatan rumus pada konveksi plat datar.

$$Re = \frac{V \times L}{\nu}$$

Dimana: V = kecepatan udara (m/s)
 L = panjang karakteristik (m)
 ν = kinematic viscosity (m²/s)

$$Re = \frac{2,5 \frac{m}{s} \times 1,7 m}{15,9 \times 10^{-6} m^2/s}$$
$$Re = 267.295,6 \text{ (Laminar)}$$

Sehingga melalui perhitungan tersebut didapatkan nilai *Reynolds Number* untuk setiap variasi kecepatan udara. (Terlampir)

2. Mencari Nilai Nusselt Number

Dengan didapatkan nilai *Reynolds Number*, maka nilai *Nusselt Number* dapat diperoleh melalui rumus:

$$Nu = 0,664 \times Re^{1/2} \times Pr^{1/3}$$
$$Nu = 0,664 \times (267.295,6)^{1/2} \times (0,73)^{1/3}$$
$$Nu = 309,1$$

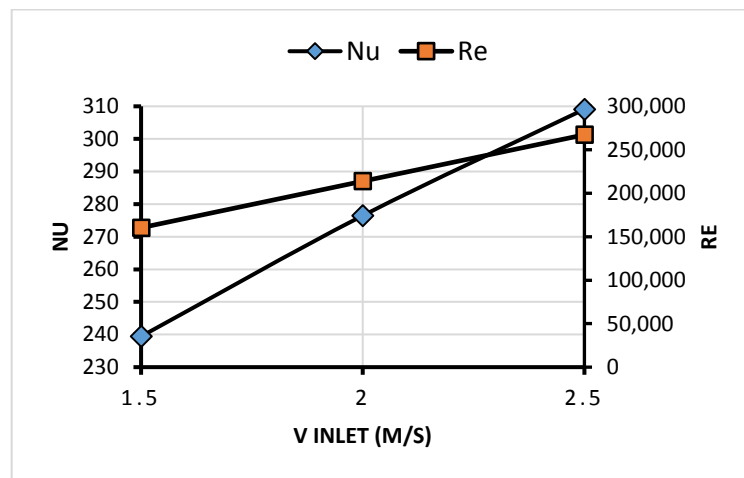
3. Mencari nilai Koefisien Konveksi

Dengan menggunakan analisa perpindahan panas, setelah didapatkan nilai Re dan Nu , maka nilai koefisien konveksi didapat melalui rumus:

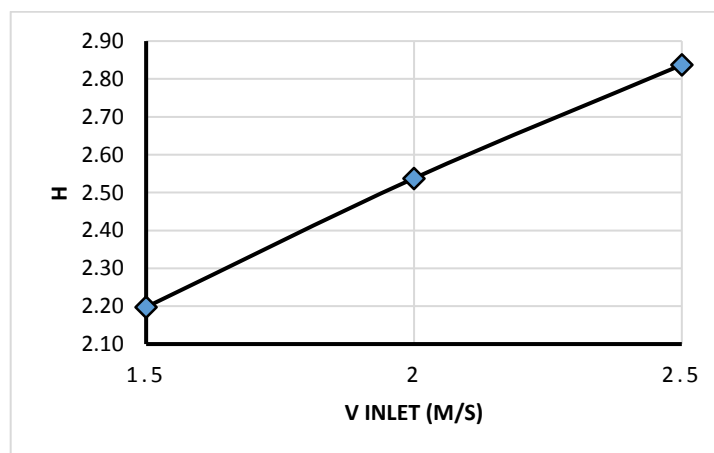
$$h = \frac{Nu \times k}{L}$$
$$h = \frac{309,1 \times 2,57 \times 10^{-2} \frac{W}{m \cdot K}}{1,7 m}$$
$$h = 2,84 W/m^2 \cdot K$$

4.5.2. Hubungan V inlet, Nu , Re , dan h

Kecepatan udara sangat erat hubungannya dengan Reynolds Number, hubungan kecepatan udara dengan Reynolds Number ditunjukkan melalui gambar 4.18, dimana dengan meningkatnya kecepatan inlet diffuser maka Reynolds Number juga mengalami kenaikan. Tidak Jauh berbeda dengan Reynolds Number, Nusselt Number juga akan mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya kecepatan udara.



Gambar 4.18. Grafik Pengaruh Kecepatan Udara terhadap Reynolds Number dan Nusselt Number



Gambar 4.19. Grafik Pengaruh Nusselt Number terhadap Koefisien Heat Transfer

Gambar 4.19 menunjukkan bahwa koefisien *heat transfer* semakin tinggi seiring dengan bertambahnya kecepatan udara suplai, paling besar berada pada kecepatan udara 2,5 m/s. Pada kecepatan udara ini, nilai *heat transfer coefficient* untuk tiap baris pekerja sebesar 2,84 W/m².K.

Nilai Heat flux pada tiap pekerja adalah sama, sehingga dengan naiknya nilai heat transfer koefisien akibat kecepatan udara yang naik, maka dari rumus :

$$q'' = h \cdot (T_s - T_\infty)$$

perbedaan suhu antara permukaan dan sekeliling pekerja akan turun, yang mengakibatkan temperatur permukaan mengalami penurunan seiring naiknya kecepatan udara, pada hasil simulasi ditunjukkan oleh gambar 4.15 dimana grafik semakin bergerak kekiri dengan naiknya kecepatan udara. Sementara itu semakin mendekati lantai temperatur permukaan semakin naik, hal ini diakibatkan karena temperatur sekitar yang semakin tinggi akibat panas dari lantai.

4.6. Perhitungan Beban Pendinginan

Berdasarkan ASHRAE *Handbook : Fundamentals*, 1997, besarnya kalor total yang dihasilkan untuk suatu aktivitas yang dilakukan oleh seorang pria dewasa dimana untuk kategori pekerjaan industri ringan (berdiri, berjalan, mengangkat barang ringan) adalah 200 Watt.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Pekerja} &= 30 \text{ orang} \\ \text{Total Q pekerja} &= 200 \text{ Watt} \times 30 \text{ orang} \\ &= 6000 \text{ Watt} \\ &= 20370,37 \text{ BTU/jam} \end{aligned}$$

4.6.1. Perhitungan Debit Udara

Untuk mengetahui kecepatan udara aliran udara didalam saluran, perlu ditentukan ukuran saluran dan debit udara yang melalui saluran. Dengan hasil perhitungan debit udara yang telah dilakukan, dan dimensi saluran yang telah diketahui, maka kecepatan udara aliran udara dalam saluran dapat dihitung sebagai berikut:

$$\bar{V} = \frac{\text{Debit udara}}{\text{Luas penampang saluran}}$$

Sebagai contoh perhitungan salah satu bagian saluran memiliki ukuran dan debit udara sebagai berikut:

Luas Penampang Saluran : 0,5 m x 0,5 m

Kecepatan udara Aliran Udara : 1,5 m/s

Sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Debit Udara} &= 1,5 \text{ m/s} \times 0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \\ &= 0,375 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 0,375 \text{ CMS} \\ &= 795 \text{ CFM} \end{aligned}$$

Direncanakan terdapat 20bh diffuser, sehingga total debit udara pendingin :

$$\begin{aligned} \text{Debit Total} &= \text{Debit per diffuser} \times \text{Jumlah Diffuser} \\ &= 1.060 \text{ CFM} \times 20 \text{ bh} = 15.900 \text{ CFM} \end{aligned}$$

Massa jenis udara pada suhu 20 °C adalah 1,204 kg/m³, sehingga Laju aliran massa yang dibutuhkan $7,5 \text{ CMS} \times 1,204 \text{ kg/m}^3 = 9 \text{ kg/s}$

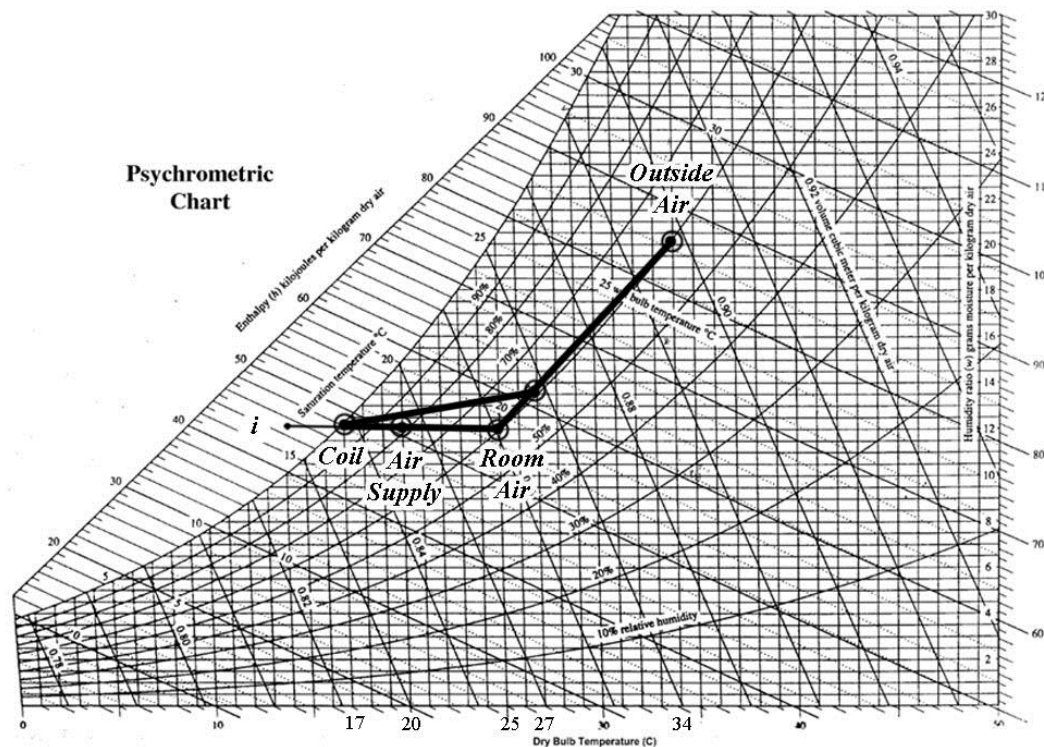
4.6.2. Aplikasi Psychrometric Chart

Untuk mengetahui kapasitas pendinginan, dapat digunakan bagan psikrometri. Dari bagan tersebut dapat diketahui kondisi udara :

Temperatur udara *Outdoor Air* : 34 °C

Temperatur udara *Supply Air* : 20 °C

Temperatur udara *Room Air* : 25 °C



Gambar 4.20. Plotting Temperatur Udara Rancangan pada Pscrometric Chart

Direncanakan komposisi campuran udara antara udara luar dan udara balik adalah 1:4. Orang yang memiliki kegiatan berdiri memiliki kalor sebesar 150 W, sehingga kalor sensiblenya 50% yaitu 75 W, beban pemanasan yang lain diabaikan sehingga kalor laten diabaikan.

Diinginkan ruangan bersuhu 25 °C dengan RH 60% maka melalui diagram pscrometric chart diperoleh entalphinya 56 KJ/kg. Tekanan uap air untuk udara jenuh 25 °C sebesar 3,169 KPa (tabel properties uap air), karena RH=60% maka tekanan uap air adalah $0,6 \times (3,169) = 1,9014$ KPa. Rasio kelembaban (W) diperoleh dari rumus berikut:

$$W = 0,622 \frac{P_s}{P_t - P_s}$$

Dimana P_t = tekanan atmoseferik = 101,3 KPa

P_s = tekanan parsial uap air dalam keadaan jenuh

Sehingga,

$$W = 0,622 \frac{1,9014}{101,3 - 1,9014}$$

$$W = 0,012 \text{ kg/kg}$$

Udara luar bersuhu 34 °C dengan RH 60% maka melalui diagram psycrometric chart diperoleh entalpinya 87 KJ/kg. Tekanan uap air untuk udara jenuh 34 °C sebesar 5,324 KPa (tabel properties uap air), karena RH=60% maka tekanan uap air adalah 0,6 x (5,324 KPa) =3,1944 KPa. Rasio kelembaban (W) diperoleh dari rumus yang sama:

$$W = 0,622 \frac{3,1944}{101,3 - 3,1944}$$

$$W = 0,02 \text{ kg/kg}$$

Kondisi Campuran :

$$h = 0,8(56 \text{ KJ / kg}) + 0,2(87 \text{ KJ/kg}) = 62,2 \text{ KJ/kg}$$

$$W = 0,8(0,012 \text{ kg / kg}) + 0,2(0,02 \text{ kg/kg}) = 0,0134 \text{ kg/kg}$$

Sehingga diperoleh sifat lainnya, yaitu suhu bola kering = 27 °C

Untuk menentukan suhu udara yang meninggalkan koil maka harus dicari garis bebannya, dapat dicari dengan menentukan titik i

$$\begin{aligned} \frac{C_p(t_R - t_i)}{h_R - h_i} &= \frac{q_s}{q_s + q_l} \\ h_i &= h_R - \left(C_p(t_R - t_i) \frac{q_s + q_l}{q_s} \right) \\ h_i &= 56 - \left(1,0(25 - 14) \frac{75}{75} \right) \\ h_i &= 45 \text{ KJ/kg} \end{aligned}$$

Garis lurus yang menghubungkan titik pencampuran dan titik i dengan h_i -nya, memotong garis jenuh di suhu 17 °C yang merupakan suhu udara meninggalkan koil, dari bagan psycrometric diperoleh entalpinya 48 KJ/kg

Sehingga kapasitas pendinginan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas Pendinginan} &= \dot{m}(h_1 - h_2) \\ &= (9 \text{ kg/s})(62,2 \text{ KJ/kg} - 48 \text{ KJ/kg}) \\ &= 127,8 \text{ KJ/s} \\ &= 0,128 \text{ MW}\end{aligned}$$

Jika dibandingkan dengan kebutuhan mendinginkan seluruh ruangan, dimana dibutuhkan kapasitas pendinginan sebesar 0,3 MW, maka metode ini mampu menghemat energi sekitar 58 %.

BAB 5

KESIMPULAN

- Pada simulasi kondisi existing, dimana kipas membawa udara panas dari outdoor sehingga tidak mampu mendinginkan temperatur dalam ruangan. Hasil simulasi menunjukkan temperatur pada occupant zone berkisar antara 34–36 °C, nilai ini melebihi kriteria temperatur yang nyaman menurut ASHRAE.
- Pada simulasi perencanaan dimana ditambahkan diffusers menunjukkan hasil temperatur yang lebih baik, temperatur ruangan mencapai 29 C, lebih rendah dari temperatur existing sekitar 30%
- Temperatur hasil variasi ketiga kecepatan inlet diffuser berada pada kriteria nyaman menurut ASHRAE berkisar antara 24-26 °C, sehingga direkomendasikan kecepatan udara suplai terendah yaitu 1,5 m/s untuk menghemat kapasitas pendinginan.
- Untuk kecepatan udara suplai sebesar 1,5 m/s, laju aliran massa yang harus disuplai oleh AHU sekitar 9 kg/s, sehingga kapasitas pendinginan yang dibutuhkan sebesar 0,128 MW
- Dibandingkan dengan ketika mendinginkan seluruh ruangan dimana dibutuhkan kapasitas pendinginan 0,3 MW maka metode spot cooling ini mampu menghemat energi sebesar 58 %
- Semakin meningkatnya kecepatan udara, Re akan naik, begitu juga Nu. Dengan meningkatnya Nu maka heat transfer koefisien juga akan semakin meningkat, sehingga perbedaan temperatur antara permukaan tubuh pekerja dengan sekitarnya akan menurun. Ini berarti pada titik yang sama, temperaturnya akan turun seiring meningkatnya kecepatan udara suplai.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

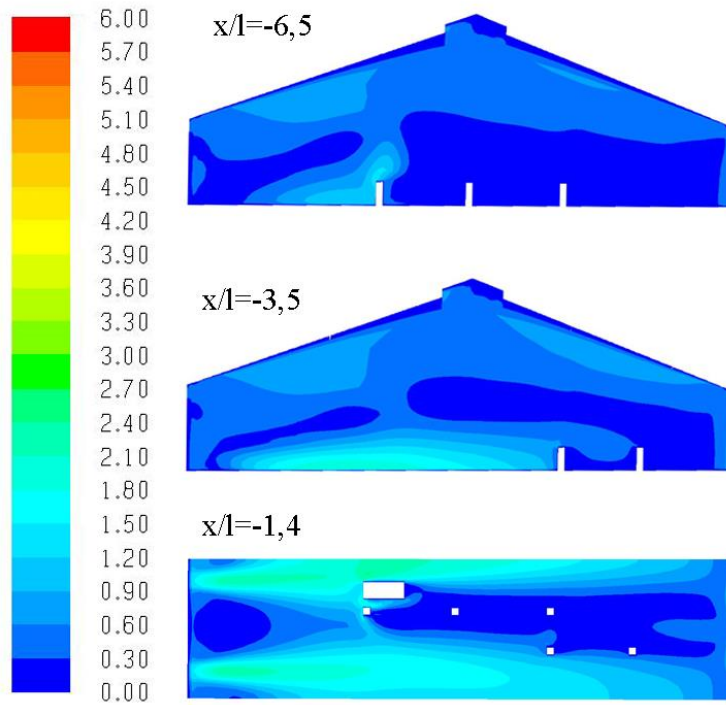
- [1] ASHRAE, (1997-2000), *Ashrae Fundamentals Handbook*, ASHRAE Inc.
- [2] M. Bojic, F. Yik, T.Y. Lo, (2002), “Locating air-conditioners and furniture inside residential flats to obtain good thermal comfort”, *Energy and Buildings*, 34 (7) 745–751.
- [3] W.N. Hien, W. Liping, A.N. Chandra, A.R. Pandey, W. Xiaolin, (2005), “Effects of double glazed facade on energy consumption, thermal comfort and condensation for a typical office building in Singapore”, *Energy and Buildings*, 37 (6) 563–572.
- [4] A. Stamou, I. Katsiris, (2006), “Verification and application of a CFD model for the evaluation of thermal comfort in office spaces”, *Building and Environment*, 41 1171–1181.
- [5] K.A. Papakonstantinou, C.T. Kiranoudis, N.C. Markatos, (2000), “Computational analysis of thermal comfort: the case of the archaeological museum of Athens”, *Applied Mathematical Modelling*, 24 (7) 477–494.
- [6] K.W.D. Cheong, E. Djunaedy, Y.L. Chua, K.W. Tham, S.C. Sekhar, N.H. Wong, M.B. Ullah, (2003), “Thermal comfort study of an airconditioned lecture theatre in the tropics”, *Building and Environment*, 38 (1) 63–73.
- [7] T. Karimipناه, H.B. Awbi, M. Sandberg, C. Blomqvist, (2007), “Investigation of air quality, comfort parameters and effectiveness for two floor level air supply systems in classrooms”, *Building and Environment*, 42 (2) 647–655.
- [8] C.G. Helmis, J. Tzoutzas, H.A. Flocas, C.H. Halios, O.I. Stathopoulou, V.D. Assimakopoulos, V. Panis, M. Apostolatou, G. Sgouros, E. Adam, (2007), “Indoor air quality in a dentistry clinic”, *Science of The Total Environment*, 377 (2–3) 349–365.
- [9] P. Rohdin, B. Moshfegh, (2016), “Numerical predictions of indoor climate in large industrial premises. A comparison between different k–e models supported by field measurements”, *Building and Environment*, in press. doi:10.1016/j.buildenv.2006.11.005.

- [10] Stamou Anastasios I, Katsiris Ioannis, Schaelin Alois., (2007), “ Evaluation of thermal comfort in Galatsi Arena of the Olympics “Athens 2004” using a CFD method”, *Applied Thermal Engineering* , 8:1–10.
- [11] Meng QL, Li Q , Zhao LH, Li L, Chen ZL, Chen Y, (2007), “Numerical study on airflow and temperature distribution in an airport terminal building under natural ventilation”. *In: Proceedings of the sixth international conference on indoor air quality, ventilation & energy conservation in buildings*, Sendai.
- [12] Ming Lai. Chi, (2003), “Experiments on the ventilation efficiency of turbine ventilators used for building and factory ventilation”, *Energy and Buildings*, 35: 927–932.
- [13] Kadiri. K.O, (2006), “The Effectiveness of Fan in Enhancing Comfort”, *Journal of Applied Sciences Research*, 2(11): 904-908.
- [14] Wang.Yong, KL.Kelvin, Dua.Hongmei, Qinga.Jing, Tu.Jiyuan, (2014), “Design configuration for a higher efficiency air conditioning system in large space building”, *Energy and Buildings* , 72 :167–176
- [15] Qiong Li, (2009), “CFD study of the thermal environment in an air-conditioned train station building”, *Building and Environment*, 44 :1452–1465
- [16] Cengel, Yunus A., *Heat Transfer A Practical Approach*, Second Edition
- [17] Manurung.P,(2017),“Simulasi Numerik Distribusi Temperatur Dan Kecepatan Udara Ruang Produksi Pt Pertamina (Persero)”, Teknik Mesin FTI – ITS,.
- [18] Stoecker, Wilbert F., (1994), *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Edisi Kedua, Erlangga.
- [19] Huo, Y., Gao, Y., Chow, Wan-Ki., (2009), “Locations of diffusers on air flow field in an office”, *APCWE VII*, Taiwan,

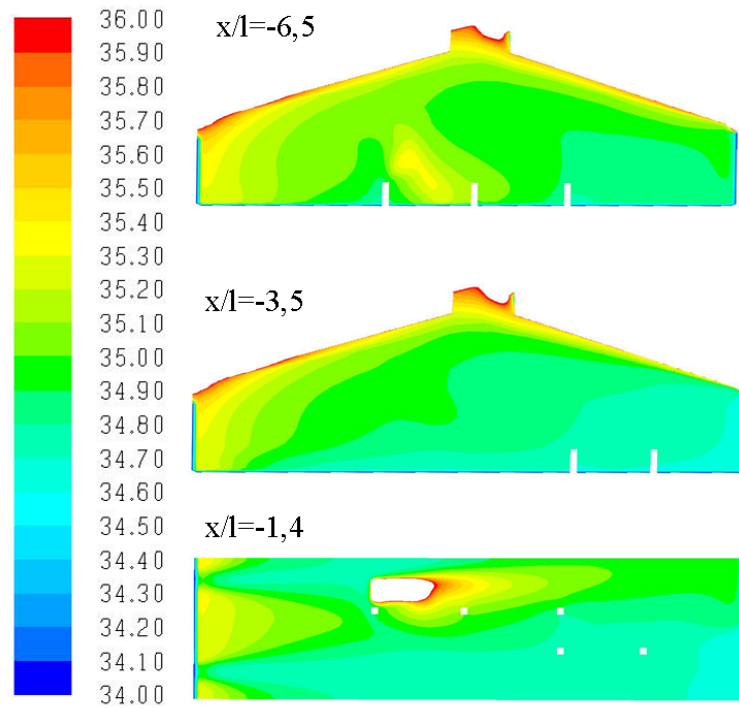
LAMPIRAN I

Hasil Simulasi Existing

a. Kontur Kecepatan Udara pada $y/h = 1,4$



b. Kontur Temperatur Udara pada $y/h=1,4$

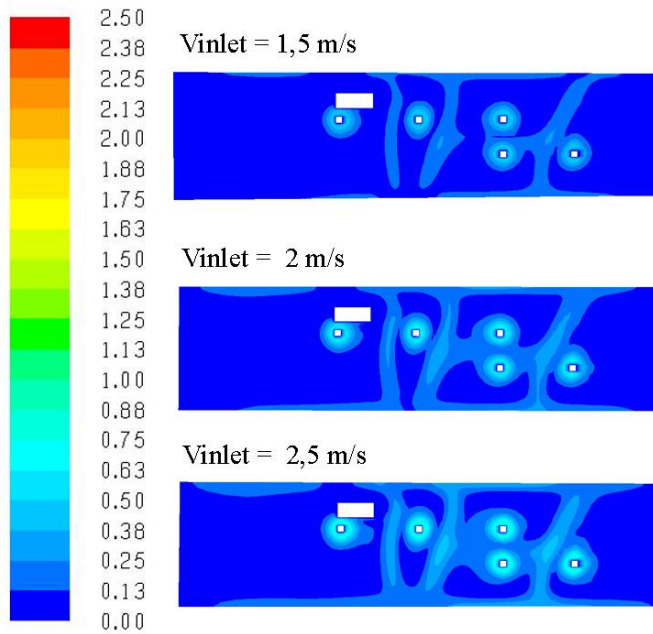


LAMPIRAN II

Hasil Simulasi Perencanaan

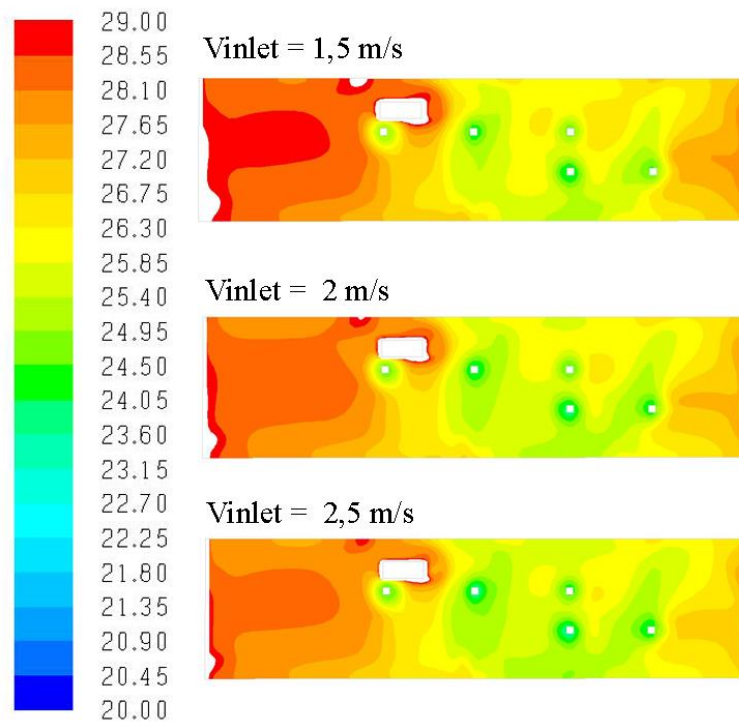
a. Distribusi Kecepatan Udara Pada Bidang $y/h = 1,4$ Pengaruh dari Variasi Kecepatan Inlet Diffuser

(V inlet) : 1,5 m/s, 2 m/s, 2,5 m/s.

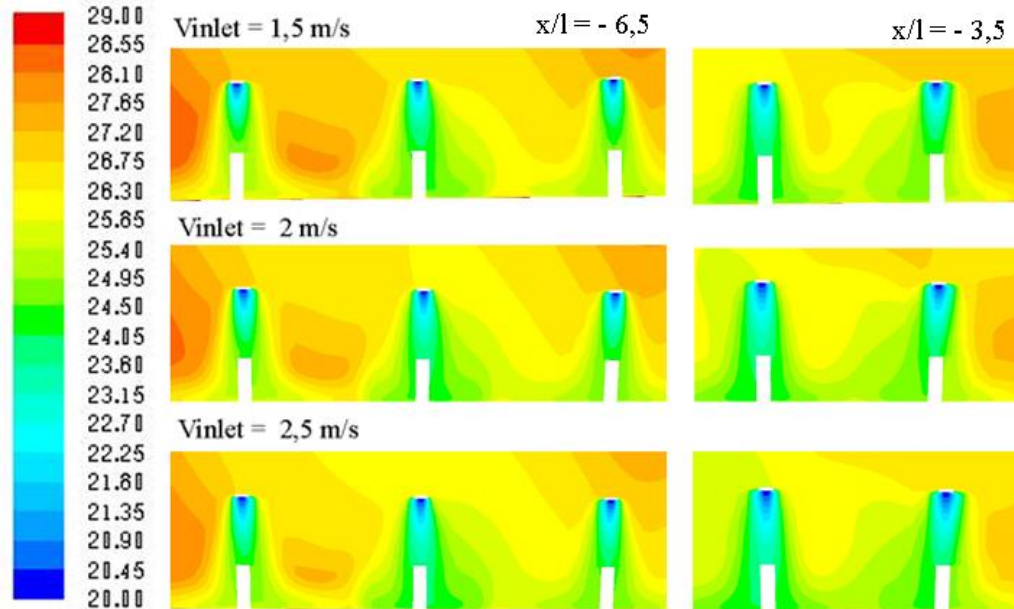


b. Distribusi Temperatur Udara Pada Bidang $y/h = 1,4$ Pengaruh dari Variasi Kecepatan Inlet Diffuser

(V inlet) : 1,5 m/s, 2 m/s, 2,5 m/s.



- c. Distribusi Temperatur Udara Pada Tiap Pekerja Pengaruh dari Variasi Kecepatan Inlet Diffuser
(V inlet) : 1,5 m/s, 2 m/s, 2,5 m/s.



LAMPIRAN III

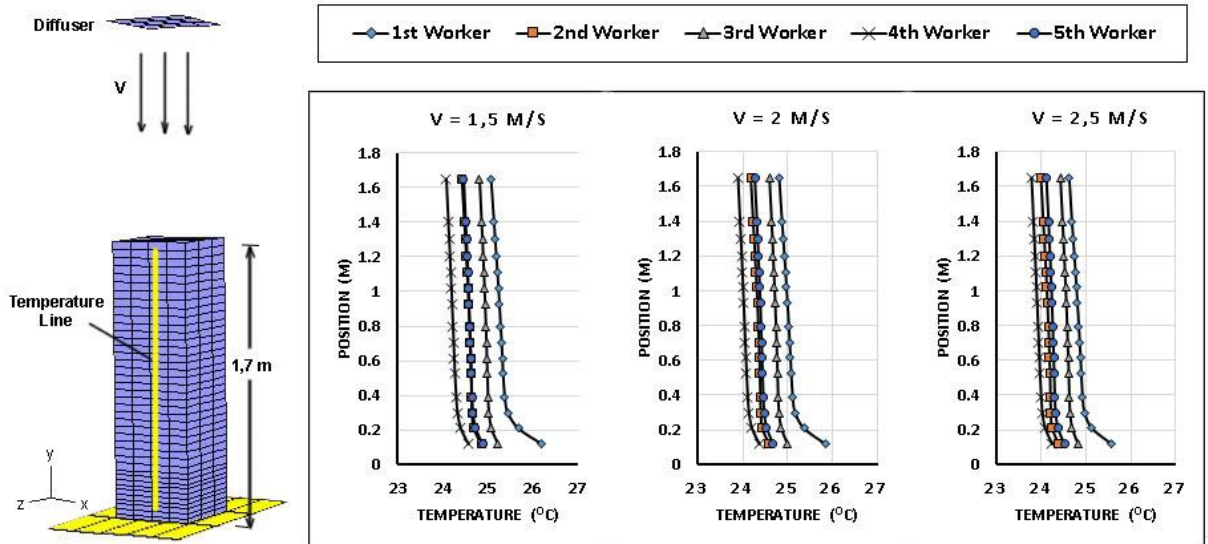
- a. Data Temperatur Udara hasil Variasi Kecepatan Inlet Diffuser

Velocity Inlet = 1,5 m/s					
	Temperatur				
Y	Orang 1	Orang 2	Orang 3	Orang 4	Orang 5
1.65	25.069	24.422	24.815	24.077	24.462
1.5	25.107	24.455	24.842	24.104	24.488
1.3	25.16	24.499	24.878	24.141	24.523
1.11	25.21	24.539	24.91	24.174	24.553
0.885	25.265	24.58	24.943	24.211	24.585
0.705	25.303	24.607	24.967	24.24	24.608
0.48	25.347	24.631	24.992	24.277	24.633
0.3	25.441	24.647	25.022	24.324	24.666
0.21	25.679	24.685	25.076	24.395	24.726
0.12	26.191	24.852	25.224	24.568	24.881
0.06	26.619	25.127	25.418	24.785	25.075
0.03	27.005	25.454	25.664	25.051	25.322

Velocity Inlet = 2 m/s					
	Temperatur				
Y	Orang 1	Orang 2	Orang 3	Orang 4	Orang 5
1.65	24.805	24.173	24.591	23.89	24.263
1.5	24.843	24.204	24.618	23.917	24.291
1.3	24.896	24.248	24.655	23.953	24.326
1.11	24.946	24.288	24.688	23.986	24.358
0.885	25.001	24.329	24.723	24.023	24.391
0.705	25.04	24.356	24.748	24.052	24.415
0.48	25.084	24.38	24.774	24.089	24.44
0.3	25.16	24.396	24.801	24.133	24.471
0.21	25.357	24.428	24.851	24.198	24.527
0.12	25.832	24.581	24.991	24.363	24.674
0.06	26.263	24.843	25.177	24.572	24.861
0.03	26.651	25.162	25.416	24.831	25.102

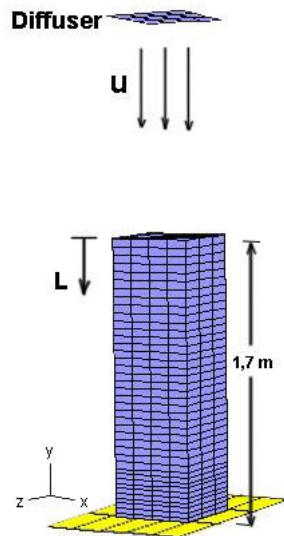
Velocity Inlet = 2,5 m/s					
	Temperatur				
Y	Orang 1	Orang 2	Orang 3	Orang 4	Orang 5
1.65	24.619	23.985	24.424	23.775	24.109
1.5	24.656	24.016	24.452	23.801	24.137
1.3	24.709	24.059	24.49	23.837	24.173
1.11	24.759	24.099	24.525	23.87	24.206
0.885	24.816	24.14	24.562	23.908	24.239
0.705	24.856	24.167	24.587	23.937	24.262
0.48	24.899	24.192	24.614	23.974	24.287
0.3	24.964	24.207	24.639	24.017	24.315
0.21	25.13	24.237	24.685	24.079	24.368
0.12	25.567	24.381	24.819	24.238	24.51
0.06	25.994	24.634	25.001	24.441	24.693
0.03	26.379	24.947	25.235	24.694	24.928

b. Grafik Temperatur Udara pada Permukaan Tubuh Pekerja Pengaruh dari Variasi Kecepatan Inlet Diffuser



LAMPIRAN IV

Data Perhitungan Analisa Perpindahan Panas



Untuk Aliran Laminar pada Plat Datar

$$Re = \frac{V \times L}{\nu}$$

$$Nu = 0,664 \times Re^{1/2} \times Pr^{1/3}$$

$$h = \frac{Nu \times k}{L}$$

u	L	v	Re	Jenis aliran	Pr	Nu	k	h
1.5	1.7	1.59E-05	160377.36	laminar	0.73	239.43	0.0257	2.20
2	1.7	1.59E-05	213836.48	laminar	0.73	276.47	0.0257	2.54
2.5	1.7	1.59E-05	267295.60	laminar	0.73	309.10	0.0257	2.84

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Cepu, Kabupaten Blora pada tanggal 24 Nopember 1980, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan suami istri Suparmo dan Wahyuningsari.

Penulis memulai pendidikan formal sekolah dasar di SDN 3 Cepu pada tahun 1987 -1993. Kemudian melanjutkan sekolah menengah di SMPN 3 Cepu pada tahun 1993-1996, dan pendidikan sekolah menengah atas di SMAN 1 Cepu pada tahun 1996 - 1999. Selanjutnya, penulis melanjutkan studinya ke jenjang perkuliahan pada tahun 1999 di Jurusan D-3 Teknik Mesin ITS, Surabaya bidang studi Perawatan Mesin Konversi Energi, dan lulus pada tahun 2003.

Pada tahun 2011-2012, melalui beasiswa Kementerian ESDM penulis melanjutkan studi di D-4 Teknik Mesin Kilang di Sekolah Tinggi Energi dan Mineral, dan pada tahun 2015-2017 dengan beasiswa dari program Kementerian ESDM pula penulis melanjutkan studi S-2 di Jurusan Teknik Mesin ITS bidang studi Rekayasa Konversi Energi.

Saat ini penulis bekerja di Direktorat Perencanaan dan Pembangunan Infrastruktur MIGAS, Ditjen MIGAS . Untuk segala informasi dan saran yang ditujukan kepada penulis dapat menghubungi penulis melalui *e-mail* hernawan_novianto@yahoo.com.